

## Κεφάλαιο 6:

### Έλεγχος συμφόρησης της κίνησης σε ATM δίκτυα

#### 6.0 Εισαγωγή

Η πρόσφατη εξέλιξη της τεχνολογίας είχε σαν αποτέλεσμα την ενοποίηση του τρόπου μεταφοράς των διαφόρων υπηρεσιών σε ένα μοναδικό δίκτυο (B-ISDN). Μεταξύ των προτεινομένων τεχνικών μεταφοράς στο B-ISDN, η ATM είναι η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνική λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρει στο χειρισμό υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα εξυπηρέτησης.

Παρόλα τα πολλά πλεονεκτήματα της ATM τεχνικής πολύπλεξης ένα μεγάλο πρόβλημα για τα ATM δίκτυα είναι ο έλεγχος συμφόρησης. Ο έλεγχος συμφόρησης απαιτείται για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS) εμποδίζοντας την υπερφόρτωση των διακοπών ή των links από την ταυτόχρονη άφιξη πολλών χρηστών και τη σπατάλη πόρων του δικτύου από ορισμένους μόνο χρήστες. Αντικειμενικός σκοπός, είναι να επιλέξουμε το μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης που είναι απλός, αποδοτικός, δίκαιος και δε θα βελτιώνεται για κανένα ειδικό τύπο υπηρεσίας.

Συμφόρηση προκαλείται όταν υπάρχει κάποια βλάβη στο δίκτυο (π.χ. ένας ελαττωματικός κόμβος, μια σπασμένη σύνδεση μεταξύ δυο οπτικών ινών, κτλ.), ή από μια απρόβλεπτη στατιστική διακύμανση της κίνησης. Λόγω της τελευταίας (η πηγή δεν εκπέμπει πάντα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που μπορεί), ο αριθμός των πηγών (κλήσεων)  $N$ , που γίνονται αποδεκτές σ' ένα δίκτυο

ATM είναι τέτοιος ώστε  $\sum_{i=1}^N p_i \leq C$ , όπου  $p_i$  είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης της πηγής  $i$  και  $C$

η χωρητικότητα της γραμμής εξόδου για το συγκεκριμένο κόμβο. Στην περίπτωση, όμως, που όλες οι πηγές μεταδώσουν ταυτόχρονα με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσής τους τότε οι κόμβοι του δικτύου υπερφορτίζονται και στο δίκτυο παρουσιάζεται συμφόρηση. Απαιτείται, λοιπόν, ένας αλγόριθμος για τον έλεγχο της συμφόρησης. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της συμφόρησης, στα τωρινά δίκτυα δεδομένων (π.χ. X.25) είναι οι μηχανισμοί παραθύρου και backpressure with chocking. Οι μηχανισμοί αυτοί ενεργούν αφού πρώτα διαπιστωθεί συμφόρηση

(Reactive Control) και στόχο έχουν να αναγκάσουν τις πηγές να μειώσουν το ρυθμό μετάδοσής τους προς τον υπό συμφόρηση κόμβο. Σε πολλές περιπτώσεις, αρκεί οι γειτονικοί κόμβοι να μειώσουν τη ροή κίνησης προς τον υπό συμφόρηση κόμβο για την εξάλειψη της συμφόρησης. Οι μηχανισμοί αυτοί (Reactive control) δεν είναι κατάλληλοι για περιβάλλον ATM για τους παρακάτω λόγους:

**α)** Οι περισσότερες υπηρεσίες δεν μπορούν να ελεγχθούν, π.χ η πηγή της φωνής και της εικόνας δεν μπορεί να σταματήσει την παραγωγή cells ακόμη και όταν έχει παρουσιαστεί συμφόρηση στο δίκτυο.

**β)** Η ανάδραση είναι αργή λόγω της δραστηκής μείωσης του χρόνου μετάδοσης των cells. Σαν παράδειγμα, θεωρούμε δύο γειτονικούς κόμβους μεταγωγής, A και B, που συνδέονται με καλώδιο 100 km. Θεωρούμε cells μεγέθους 500 bits και καθυστέρηση μετάδοσης (propagation delay time) 5  $\mu$ s ανά 1 km καλωδίου. (Το ακριβές μέγεθος ενός ATM cell είναι 424 bits σύμφωνα με τις συστάσεις της CCITT. Ωστόσο χρησιμοποιούμε μέγεθος cell 500 bits για λόγους απλότητας). Εξετάζουμε το ακόλουθο σενάριο: Θεωρούμε κανάλι ταχύτητας 1 Mbps. Ο χρόνος μετάδοσης ενός cell είναι 500 bits / 1Mbps = 0.5ms. Ο κόμβος A αρχίζει να μεταδίδει ένα cell. Χρειάζονται 500  $\mu$ sec για να μεταδοθεί το ηλεκτρικό σήμα στον κόμβο B. Έτσι όταν το πρώτο bit φθάνει στον B, ο A μεταδίδει το τελευταίο bit του ίδιου cell. Ας αντικαταστήσουμε το καλώδιο με μία οπτική ίνα 1 Gbps. Ο χρόνος μετάδοσης μειώνεται σε 500 bits / 1 Gbps = 0.5  $\mu$ s ενώ ο χρόνος καθυστέρησης μετάδοσης παραμένει ο ίδιος. Ο A αρχίζει να μεταδίδει ένα πακέτο. Όταν το πρώτο bit φθάνει στον B, ο A μεταδίδει το 1000<sup>ο</sup> cell. Δηλαδή, 1000 cells ταξιδεύουν ήδη προς το B. Από το παράδειγμα φαίνεται ότι στα δίκτυα υψηλής ταχύτητας, όπως τα ATM δίκτυα, η επιβάρυνση (overhead) λόγω της καθυστέρησης μετάδοσης είναι σημαντική. Έτσι μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης όπως αυτά που προσαρμόζουν την ταχύτητα μετάδοσης του A με ανάδραση από τον B, δεν μπορούν να αποδώσουν σε ATM δίκτυα. Φαίνεται λοιπόν καθαρά από το παράδειγμα, ότι η κατάσταση του δικτύου αλλάζει δραματικά, έχοντας κανάλια υψηλής ταχύτητας, με αποτέλεσμα συστήματα ελέγχου που αναπτύχθηκαν στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα να μην είναι εφαρμόσιμα στα δίκτυα υψηλής ταχύτητας, όπως τα ATM.

γ) Ένας άλλος παράγοντας που κάνει την ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου της συμφόρησης στα ATM δίκτυα να αποτελεί πρόκληση για τους σχεδιαστές δικτύων, είναι η απαιτούμενη απλότητα των πρωτοκόλλων στα δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Όπως φάνηκε από το παραπάνω παράδειγμα, αντικαθιστώντας το κανάλι του 1 Mbps με ένα άλλο του 1 Gbps ο χρόνος μετάδοσης του cell μειώνεται από 0.5 ms σε 0.5  $\mu$ s. Από την άλλη όμως, ο χρόνος που απαιτείται από τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου παραμένει σταθερός. Ως αποτέλεσμα μπορεί να έχουμε "μποτιλιάρισμα". Τα ATM δίκτυα χρησιμοποιούν απλά πρωτόκολλα σπρώχνοντας πολλές διεργασίες του πρωτοκόλλου από το επίπεδο link-by-link σε υψηλότερα επίπεδα edge-to-edge. Αυτό κάνει δύσκολο να φτιάξουμε link-by-link συστήματα ελέγχου συμφόρησης.

Ο μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης ενός ATM δικτύου θα πρέπει να μπορεί να εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Να ελέγχει την προσπέλαση των συνδρομητών στους πόρους του δικτύου. Ο έλεγχος εισόδου (admission control) κρατά έξω από το δίκτυο την περίσσεια κίνηση (cells με μικρότερη προτεραιότητα  $CLP = 1$  απορρίπτονται) και εξασφαλίζει ότι η μέση απαίτηση των συνδρομητών που έχουν ήδη γίνει αποδεκτοί, δε θα ξεπεράσει τους πόρους του δικτύου. Εκτός από την αποδοχή ή την απόρριψη μίας κλήσης, ο μηχανισμός ελέγχου εισόδου στο δίκτυο επιτρέπει την επαναδιαπραγμάτευση των παραμέτρων κίνησης μιας κλήσης κατά τη διάρκειά της, ειδικά όταν η ποιότητα εξυπηρέτησης που ζητεί η κλήση δεν είναι δυνατόν να παρασχεθεί (να εξακολουθήσει να την παρέχει το δίκτυο).

- Να προστατεύει την QoS των συνδρομητών έναντι των στοχαστικών διακυμάνσεων των φορτίων της κινήσεως των συνδρομητών και να δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να ειδοποιήσει τους συνδρομητές να προσαρμόσουν τις ταχύτητες (rate) τους. Η ειδοποίηση των κόμβων πηγής και προορισμού για την παρουσία συμφόρησης πραγματοποιείται με τις ενδείξεις **Backward Congestion Notification (BCN)** και **Forward Congestion Indification (FCI)** στην επικεφαλίδα του ATM cell.

- Να εξασφαλίζει ότι μια κλήση δε θα ξεπερνά τις προσυμφωνημένες παραμέτρους κίνησης και τους αντίστοιχους κατανομημένους πόρους του δικτύου (π.χ. εύρος ζώνης, μνήμη). Πρέπει δηλαδή ένα σύστημα ελέγχου της συμφόρησης να προβλέπει ένα μηχανισμό επίβλεψης για κάθε κλήση των παραμέτρων χρήσης (**Usage Parameter Control - UPC**). Όταν μια κλήση ξεπεράσει τις παραμέτρους αυτές ο UPC θα πρέπει είτε να απορρίπτει τα περίσσεια cells είτε να τα μαρκάρει (violation tagging).

Γίνεται αντιληπτό ότι για τα ATM δίκτυα, είναι αναγκαία η αναζήτηση νέων μηχανισμών για τον έλεγχο συμφόρησης. Οι μηχανισμοί αυτοί θα πρέπει να βασίζονται περισσότερο στην πρόβλεψη (preventive control) της συμφόρησης και λιγότερο στην επίδραση αφού αυτή έχει παρουσιαστεί (όπως γίνεται με τους reactive μηχανισμούς). Τέτοιοι μηχανισμοί είναι ο έλεγχος εισόδου (Call Admission) ή έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call Acceptance Control - CAC) στο δίκτυο, που κρίνει αν μια νέα κλήση θα γίνει αποδεκτή ή όχι από το δίκτυο και ο μηχανισμός επιτήρησης του εύρους ζώνης μιας κλήσης (Usage Parameter Control - UPC), που διαπιστώνει αν μια πηγή παράγει κίνηση σύμφωνα με τις παραμέτρους που δήλωσε κατά τη φάση αποδοχής της στο δίκτυο. Οι μηχανισμοί αυτοί περιγράφονται ακολούθως.

### 6.1 Βασικές λειτουργίες ελέγχου της ATM κίνησης

Ο οργανισμός ATM Forum έχει ταξινομήσει τις διάφορες υπηρεσίες ενός ATM δικτύου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Η πρώτη στήλη του Πίνακα 1 παρουσιάζει τις κατηγορίες υπηρεσιών ATM, η δεύτερη στήλη δίδει ένα παράδειγμα από κάθε κατηγορία υπηρεσίας, η τρίτη στήλη δείχνει πώς περιγράφεται η κίνηση από την χρήστη κατά την διαδικασία του “call setup” και η τελευταία στήλη περιέχει τις παραμέτρους που καθορίζουν την ποιότητα εξυπηρέτησεως, QOS, κάθε υπηρεσίας.

**Πίνακας 6.1:** Κατηγορίες υπηρεσιών ATM και χαρακτηριστικά τους.

Service Class	Example	Traffic Descriptor	QOS Parameters
CBR	Telephony	PCR	CLR, max CTD, p-t-p CDV
VBR Real-time	Video service	PCR, SCR, MBS	CLR, max CTD, p-t-p CDV
VBR Non Real-time	Banking transactions	PCR, SCR, MBS	CLR, mean CTD
ABR	Distributed file service	PCR, MCR	CLR
UBR	File transfer (background job)	PCR	Not Specified

Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες συντομογραφίες:

CBR	για	<i>Constant Bit Rate</i>	PCR	για	<i>Peak Cell Rate</i>
VBR	για	<i>Variable Bit Rate</i>	SCR	για	<i>Sustainable Cell Rate</i>
ABR	για	<i>Available Bit Rate</i>	MCR	για	<i>Minimum Cell Rate</i>
UBR	για	<i>Unspecified Bit Rate</i>	MBS	για	<i>Maximum Burst Size</i>
			CLR	για	<i>Cell Loss Rate</i>
p-t-p	για	<i>peak-to-peak</i>	CTD	για	<i>Cell Transfer Delay</i>
max	για	<i>maximum</i>	CDV	για	<i>Cell Delay Variation</i>

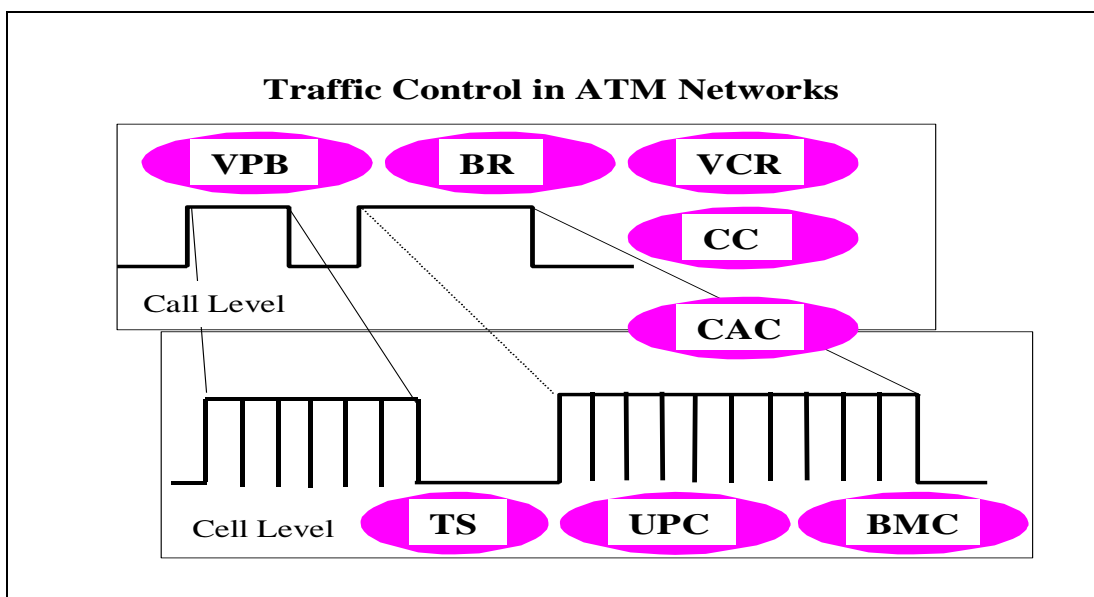
Σύμφωνα με την ITU-T I.371, ο πρωταρχικός ρόλος του ελέγχου κίνησης (traffic control) στο B-ISDN είναι να προστατεύει το δίκτυο και το χρήστη, ώστε να επιτύχει την προκαθορισμένη απόδοση δικτύου στα πλαίσια του ρυθμού απωλειών cells, καθυστέρησης μετάδοσης cells και διάφορες καθυστερήσεις cells. Βασικά, *traffic control* είναι μια σειρά από ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στο δίκτυο, ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση. Το τελευταίο μπορεί να συμβεί από απρόβλεπτες στατιστικές διακυμάνσεις της ροής της κίνησης ή από λανθασμένες συνθήκες εσωτερικά στο ATM δίκτυο, που πιθανώς οδηγούν σε απώλειες cells ή απροσδόκητες end-to-end καθυστερήσεις μετάδοσης cells. Ένας συμπληρωματικός ρόλος του traffic control είναι να υπολογίζει τη χρήση των πηγών του δικτύου με σκοπό την επίτευξη πραγματικής απόδοσης δικτύου.

Οι σκοποί του ATM επιπέδου traffic control για B-ISDN μπορούν να αναφερθούν περιληπτικά ως εξής:

- \* Ευελιξία: θα πρέπει να υποστηρίζει μια σειρά από ATM επιπέδου Quality of Service (QoS) τάξεις συγκεκριμένες για όλες τις υπάρχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες.
- \* Απλότητα: ο στόχος είναι να σχεδιάζουμε απλά traffic controls επιπέδου ATM, που ελαχιστοποιούν την πολυπλοκότητα του δικτυακού εξοπλισμού, ενώ μεγιστοποιούν το βαθμό χρήσης του δικτύου.
- \* Ευρωστία: η απαίτηση να επιτύχουμε υψηλή εκμετάλλευση των πηγών σε οποιοσδήποτε συνθήκες κίνησης, ενώ θα συνυπάρχουν οι απλές συναρτήσεις ελέγχου.

Γενικά ο έλεγχος της κίνησης σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα αποσκοπεί σε:

- α) **Σχεδιασμό του δικτύου.**
  - β) **Αδιάλειπτο έλεγχο της κίνησης για την απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου.**
  - γ) **Μετρήσεις κινήσεως και QOS.**
- α) Σχεδιασμός Δικτύου, μακράς χρονικής περιόδου διαχείριση δικτύου. Αποσκοπεί στον τοπολογικό σχεδιασμό του δικτύου και στον ορθόν υπολογισμό των διαστάσεων του δικτύου. Ο σχεδιαστής εκχωρεί πόρους στο δίκτυο ούτως ώστε να ικανοποιήσει τις καλύτερες δυνατές προδιαγραφές ποιότητας εξυπηρέτησεως (Quality Of Service, QOS) του δικτύου λαμβάνοντας υπ' όψιν κυρίως οικονομικούς παράγοντες (π.χ. διαθέσιμα επενδυτικά κεφάλαια).
  - β) Αδιάλειπτος έλεγχος της κινήσεως, μικρής (αλλά συνεχώς) χρονικής περιόδου διαχείριση του δικτύου. Αποσκοπεί στην κατάλληλη εκμετάλλευση των ήδη εγκατεστημένων πόρων του δικτύου για την παροχή του καλύτερου QOS, υπό τις διακυμάνσεις του τηλεπικοινωνιακού φορτίου.
  - γ) Μετρήσεις της προσφερομένης και διεπαιουμένης κινήσεως και της προσφερομένης ποιότητας εξυπηρέτησεως του δικτύου (QOS) γίνονται συνεχώς, και αποτελούν βασικών τομέα της διαχείρισεως διότι τροφοδοτούν τους τομείς σχεδιασμού του δικτύου και αδιάλειπτου ελέγχου της κινήσεως.



**Σχήμα 6.1:** Δομή επιπέδων αδιάλειπτου ελέγχου κινήσεως σε δίκτυα ATM

### ***Έλεγχος κινήσεως σε επίπεδο πακέτων (ATM-cells)***

- α) Διαχείριση των προσωρινών καταχωρητών (Buffering Management). Ο διαχειριστής της χρησιμοποίησης των buffers εκχωρεί υψηλότερη προτεραιότητα σε εκείνα τα πακέτα κινήσεως που ζητούν αυστηρότερο QOS για να επιτευχθεί μεγαλύτερη διεκπεραιωτική ικανότητα στο δίκτυο.
- β) Έλεγχος των παραμέτρων της κινήσεως του χρήστη (Usage Parameter Control). Σε ATM δίκτυα ο χρήστης πρέπει να δηλώσει όλες της παραμέτρους της κλήσεως που θα ήθελε να κάμει (π.χ. μέγιστη και μέση τιμή ταχύτητας μετάδοσης των bits). Εν συνεχεία, το δίκτυο πρέπει να επιτηρεί τον χρήστη αν τηρεί τις παραμέτρους που δήλωσε.
- γ) Έλεγχος αποδοχής μιας κλήσεως (Connection Admission Control). Όταν ο συνδρομητής του δικτύου ζητήσει να κάμει μια κλήση και αφού δηλώσει τις παραμέτρους της κλήσεως αυτής, το δίκτυο πρέπει να αποφασίσει αν μπορεί να αποδεχθεί την κλήση και να υποσχεθεί καλό QOS.
- δ) Διαμόρφωση της κίνησης (Traffic Shaping). Στις περισσότερες πηγές κίνησης VBR, τα πακέτα παράγονται με τον μέγιστο ρυθμό κατά την διάρκεια μιας ενεργού περιόδου, ενώ δεν παράγονται καθόλου πακέτα στις περιόδους σιγής. Επομένως, είναι δυνατόν να μειώσουμε τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης πακέτων προς το δίκτυο, αν αποθηκεύσουμε προσωρινώς τα πακέτα πριν τα μεταδώσουμε, ούτως, ώστε ο ρυθμός αναχώρησης των πακέτων προς το δίκτυο να είναι μικρότερος από τον μέγιστο ρυθμό με τον οποίο παράγονται τα πακέτα. Αυτό καλείται διαμόρφωση κίνησης και μπορεί να γίνει στα τεμαχικά παραγωγής της κίνησης ή στα σημεία πρόσβασης του δικτύου.

### ***Έλεγχος κινήσεως σε επίπεδο κλήσεων (ATM calls)***

- α) Έλεγχος συμφόρησης (congestion) στους διακόπτες του δικτύου. Όταν ο αριθμός των κλήσεων που καταφθάνουν σε έναν συγκεκριμένον διακόπτη υπερβεί την χωρητικότητα επεξεργασίας κλήσεων του διακόπτη τότε περιορίζεται ο αριθμός των κλήσεων που επεξεργάζεται ο διακόπτης.
- β) Έλεγχος παρακράτησης εύρους ζώνης, BR. Η QOS υπηρεσιών που απαιτούν περισσότερο εύρος ζώνης (bandwidth) ανά κλήση είναι χειρότερη έναντι υπηρεσιών που απαιτούν μικρότερο εύρος ζώνης ανά κλήση, όταν οι υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιούν από κοινού το διατιθέμενο εύρος ζώνης. Για να έχουν την ίδια QOS παρακρατείται εύρος ζώνης για αποκλειστική χρήση από τις υπηρεσίες που απαιτούν περισσότερο εύρος ζώνης.
- γ) Έλεγχος δρομολόγησης της κινήσεως, Virtual Channel Routing Control.

- δ) Έλεγχος του εύρους ζώνης των τερματικών ζεύξεων του δικτύου, Virtual Path Bandwidth Control.

Οι πιο βασικές συναρτήσεις (έλεγχοι αδιαλείπτου λειτουργίας) για τη διαχείριση και τον έλεγχο της κίνησης στα δίκτυα ATM είναι δύο: Connection Admission Control (CAC) και Usage Parameter Control (UPC).

### 6.1.1 Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων (Connection Admission Control)

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων αποφασίζει κατά πόσο θα δεχθεί ή θα απορρίψει μια νέα σύνδεση (Virtual Channel - VC). Ο αντικειμενικός σκοπός του ελέγχου εισόδου είναι να θεμελιώσει μία δίκαιη μεταχείριση (fair blocking) μεταξύ διάφορων τύπων υπηρεσιών καθένας από τους οποίους έχει διαφορετικές ανάγκες εύρους ζώνης και απαιτήσεις QoS, και να εξασφαλίσει ότι αρκετοί πόροι του δικτύου θα είναι διαθέσιμοι για κάθε σύνδεση.

Ο έλεγχος εισόδου είναι ένας από τους πιο σημαντικούς μηχανισμούς πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται στα ATM δίκτυα για την αποφυγή της συμφόρησης. Αποφασίζει κατά πόσο θα δεχθεί ή θα απορρίψει μια νέα σύνδεση βασιζόμενος στο εάν η απαιτούμενη σύνδεση μπορεί να εξυπηρετηθεί ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα εξυπηρέτησης. Όταν μια νέα σύνδεση ζητείται, το δίκτυο εξετάζει τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης της νέας σύνδεσης (επιθυμητή καθυστέρηση μετάδοσης cell και επιθυμητή πιθανότητα απώλειας cells) και τα χαρακτηριστικά της κίνησης (peak rate, average rate etc.) και λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση του δικτύου, αποφασίζει αν θα δεχθεί ή όχι τη νέα σύνδεση ανάλογα με το εάν μπορεί να εγγυηθεί την ποιότητα εξυπηρέτησης που ζητάει ο χρήστης (πιθανότητα απώλειας cells, μέγιστη καθυστέρηση cells).

Στα δίκτυα Synchronous Transfer Mode (STM) το εύρος ζώνης ενός καναλιού είναι πλήρως καθορισμένο, αφού το time slot ενός καναλιού εμφανίζεται σε περιοδικά χρονικά διαστήματα. Έτσι όταν ένας χρήστης προσπαθεί να αποκτήσει μια νέα σύνδεση και το ζητούμενο εύρος ζώνης ξεπερνά αυτό που μπορεί να διατεθεί από το STM δίκτυο, η νέα σύνδεση απορρίπτεται ή δρομολογείται από άλλη διαδρομή. Στα ATM δίκτυα, το εύρος ζώνης ενός VC, δεν είναι σταθερά ορισμένο, αφού η πληροφορία χωρίζεται σε cells τα οποία προωθούνται στο δίκτυο ανάλογα με το ρυθμό παραγωγής τους (όχι σε προκαθορισμένα time slots). Καθώς ο αριθμός των VCs σε ένα VP αυξάνει, η ποιότητα εξυπηρέτησης μειώνεται. Έτσι είναι αδύνατο να γίνει αποδεκτός ένας απεριόριστος αριθμός VCs.

Για να επιτυγχάνεται υψηλή χρήση των πόρων του δικτύου και σταθερή ποιότητα εξυπηρέτησης, ο έλεγχος εισόδου στο δίκτυο θα πρέπει να αποφασίζει για την αποδοχή ή όχι μιας



νέας απαίτησης για σύνδεση, εξετάζοντας το στατιστικό κέρδος πολύπλεξης που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της νέας σύνδεσης και την επιθυμητή ποιότητα εξυπηρέτησης. Τα χαρακτηριστικά της νέας σύνδεσης υπολογίζονται από τις παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση (traffic descriptors) που ορίζει ο χρήστης. Ένα σύνολο από παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση που δίνεται από το χρήστη σε ένα δίκτυο πρέπει να περιλαμβάνει επαρκείς πληροφορίες ώστε το δίκτυο να ορίζει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της κίνησης.

Κατά τη διάρκεια της κλήσης αν παρουσιαστεί συμφόρηση και δεν είναι δυνατή η παραπέρα διασφάλιση του προσυμφωνημένου QoS, θα πρέπει να γίνει επαναδιαπραγμάτευση των παραμέτρων κίνησης που όρισε ο χρήστης, στη φάση αποκατάστασης της κλήσης.

Συνοψίζοντας, μία αίτηση σύνδεσης (call request) γίνεται αποδεκτή μόνο όταν συγκεκριμένες πηγές είναι διαθέσιμες να μεταφέρουν την νέα σύνδεση μέσω ολόκληρου του δικτύου στο απαιτούμενο Quality of Service (QoS), ενώ διατηρείται το συμφωνημένο QoS των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων στο δίκτυο. Κατά τη διαδικασία αποκατάστασης της σύνδεσης (call set-up) οι παρακάτω πληροφορίες πρέπει να διαπραγματευτούν και συμφωνηθούν μεταξύ "χρήστη" και "δικτύου" για να επιτραπεί στον CAC να πάρει αξιόπιστη απόφαση για την αποδοχή ή την απόρριψη μιας σύνδεσης:

- ◆ Συγκεκριμένα όρια για το συνολικό όγκο κίνησης που αναμένεται να μεταφέρει (διεκπεραιώσει) το δίκτυο σε σχέση με τις καλώς επιλεγμένες παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση (traffic descriptors).
- ◆ Το απαιτούμενο QoS εκπεφρασμένο σε όρους καθυστέρησης μετάδοσης cell (cell transfer delay), διακύμανσης της καθυστέρησης (jitter) και ρυθμού απωλειών cells (cell loss ratio).
- ◆ Την ανοχή ώστε να συμβιβάζεις διαφορετική καθυστέρηση cells που παρουσιάζεται από το Terminal Equipment (TE) ή το Customer Premises Equipment (CPE). Η ανοχή αυτή μπορεί να μεταβάλει τα διαπραγματευόμενα όρια της αναμενόμενης έντασης της κίνησης.

Τις πληροφορίες αυτές μπορεί να τις διαπραγματευτούν ξανά χρήστης και δίκτυο, κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης κατ' απαίτηση του χρήστη. Το δίκτυο από μόνο του μπορεί να περιορίσει τη συχνότητα των επαναλαμβανόμενων διαπραγματεύσεων. Τα σχέδια ελέγχου CAC δεν έχουν τυποποιηθεί ακόμα και είναι στην κρίση των χρηστών δικτύου.

### 6.1.1.1 Λειτουργίες του CAC

Ο πίνακας καταγράφει σε λίστα τις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία CAC:

Μήνυμα	Λειτουργία
Διαδικασία σύνδεσης κλήσης - Αποκατάσταση κλήσης (call setup) - Επεξεργασία κλήσης - Σύνδεση - Αναγνώριση Σύνδεσης	- Αρχική κλήση - Αρχή διαδικασίας σύνδεσης κλήσης - Σύνδεση κλήσης-δεκτή - Αναγνώριση αποδοχής κλήσης
Σημείο σε πολλαπλό-σημείο - Προσθήκη τμήματος (party) - Αναγνώριση προσθήκης τμήματος - Απόρριψη τμήματος - Αναγνώριση απόρριψης τμήματος	- Προσθήκη τμήματος σε υπάρχουσα σύνδεση - Αναγνώριση προσθήκης τμήματος - Απόρριψη τμήματος από υπάρχουσα σύνδεση - Αναγνώριση απορριπτόμενου τμήματος
Απελευθέρωσης κλήσης - Διακοπή σύνδεσης - Ολοκλήρωση διακοπής σύνδεσης	- Αρχική διακοπή κλήσης - Η κλήση έχει διακοπεί
Αναφορά συνολικής κλήσης - Νέο ξεκίνημα σύνδεσης - Αναγνώριση νέου ξεκινήματος	- Νέο ξεκίνημα για όλα τα VCs - Αναγνώριση νέου ξεκινήματος
Διάφορα - Αναζήτηση κατάστασης - Κατάσταση S (Status)	- Αποστολή μηνύματος να έλθει η S - Αποστολή αναζητούμενης κατάστασης ή αναφορά σφάλματος

Πίνακας 6.1.1.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων

### 6.1.1.2 Δυνατότητες του CAC

Ο αλγόριθμος του CAC έχει τις κάτωθι δυνατότητες:

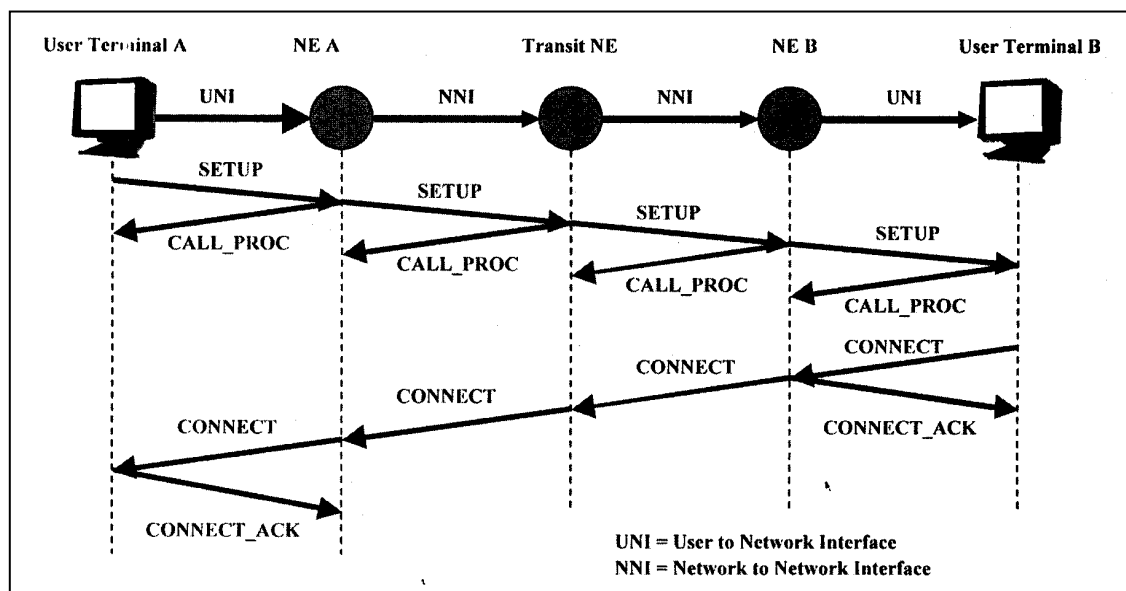
- Σύνδεση κατά απαίτηση
- Σύνδεση από σημείο σε σημείο (point to point)
- Σύνδεση από σημείο σε πολλαπλό σημείο (point to multipoint)
- Λειτουργίες πολυεκπομπής (multicasting)
- Διαπραγματεύσεις παραμέτρων QoS
- Λεπτομερής καθορισμός του εύρους των VPI/VCI
- Μηχανισμοί αποκατάστασης σφαλμάτων
- Διαδικασίες εγγραφής πελατών
- Αναγνώριση παραμέτρων από άκρο σε άκρο (end to end)

### 6.1.1.3 Διαδικασία Κλήσης CAC

#### 1) Περίπτωση Σύνδεσης

Υποθέτουμε ότι ο τερματικός χρήστης A θέλει να συνδεθεί με τον τερματικό χρήστη B. Ο τερματικός χρήστης A είναι συνδεδεμένος με (άκρη δικτύου A) ένα NE, και ο τερματικός χρήστης B είναι συνδεδεμένος με ένα άλλο (άκρη δικτύου B) NE. Μεταξύ NE A και NE B, μπορεί να υπάρχουν περισσότερα ενδιάμεσα NEs (NE περάσματος).

Η διαδικασία αποκατάστασης της κλήσης ξεκινάει με τον τερματικό χρήστη A ο οποίος στέλνει ένα μήνυμα SETUP στον NE A (σχήμα 6.1.1.3α). Το μήνυμα αυτό περιέχει διευθύνσεις (πηγής-προορισμού), παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση των πηγών, και QoS. Όταν ο NE A παραλάβει το μήνυμα SETUP, εξετάζει τις παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση της πηγής, και αν μπορεί να τις ικανοποιήσει (βασίζόμενο στη σύμβαση και στις παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση), απαντάει με μια διαδικασία call-in (call-in-process CALL\_PROC). Ο NE A επίσης, προσδιορίζει τους πόρους, καθορίζει τη διαδρομή (βασίζόμενος στη διεύθυνση προορισμού), και στέλνει ένα μήνυμα SETUP στο επόμενο NE. Το NE που δέχεται το μήνυμα το εξετάζει, και αν μπορεί να παραχωρήσει τη ζητούμενη σύνδεση, επαναλαμβάνει τη διαδικασία του NE A.

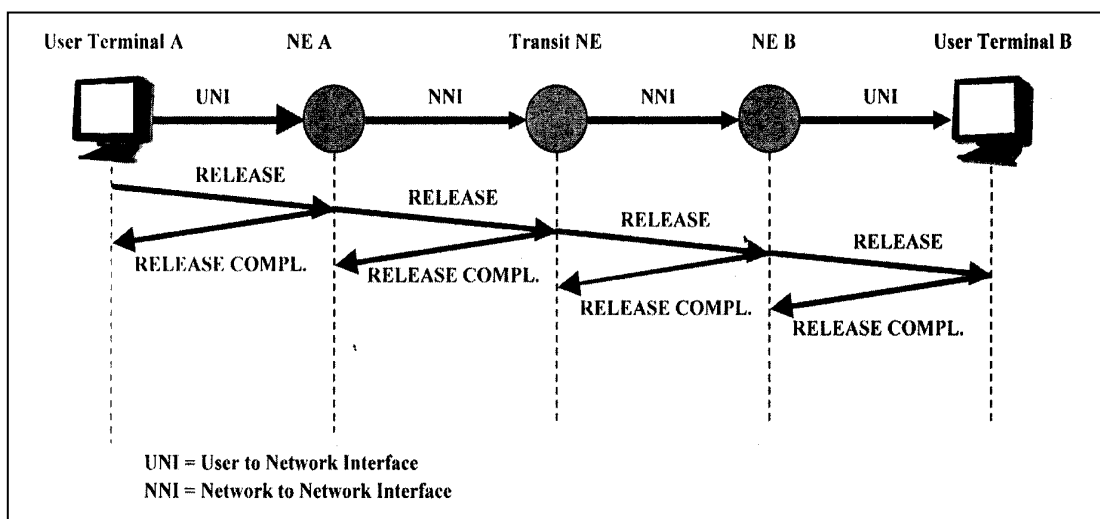


Σχήμα 6.1.1.3α Σύνδεση CAC

Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται από NE σε NE μέχρι να φτάσει το NE B. Τότε, το τελευταίο καθορίζει τον προορισμό του καλούμενου τμήματος (τερματικός χρήστης B), και εάν επιτρέψει τη σύνδεση, στέλνει ένα μήνυμα SETUP στον τερματικό B. Ο τερματικός B ανταποκρίνεται με ένα μήνυμα CALL\_PROC στο NE B. Αυτό το μήνυμα σύνδεσης (CONNECT) απαντάται με ένα μήνυμα CONNECT\_ACK στον τερματικό B και στη συνέχεια μεταδίδεται κατά την αντίθετη κατεύθυνση από NE σε NE, την ώρα που κάθε NE αποκαθιστά τη σύνδεση και ενημερώνει τους πίνακες VC. Όταν το μήνυμα CONNECT φτάσει στην πηγή, ο τερματικός χρήστης A απαντάει με ένα μήνυμα CONNECT\_ACK. Μετά από αυτό, η σύνδεση έχει αποκατασταθεί και αρχίζει η μετάδοση των δεδομένων του χρήστη.

## 2) Περίπτωση Απελευθέρωσης Σύνδεσης

Έστω ότι η σύνδεση μεταξύ τερματικού χρήστη A και B έχει αποκατασταθεί, και ότι ο πρώτος θέλει να τη διακόψει. Τότε ο τερματικός χρήστης A στέλνει ένα μήνυμα RELEASE.

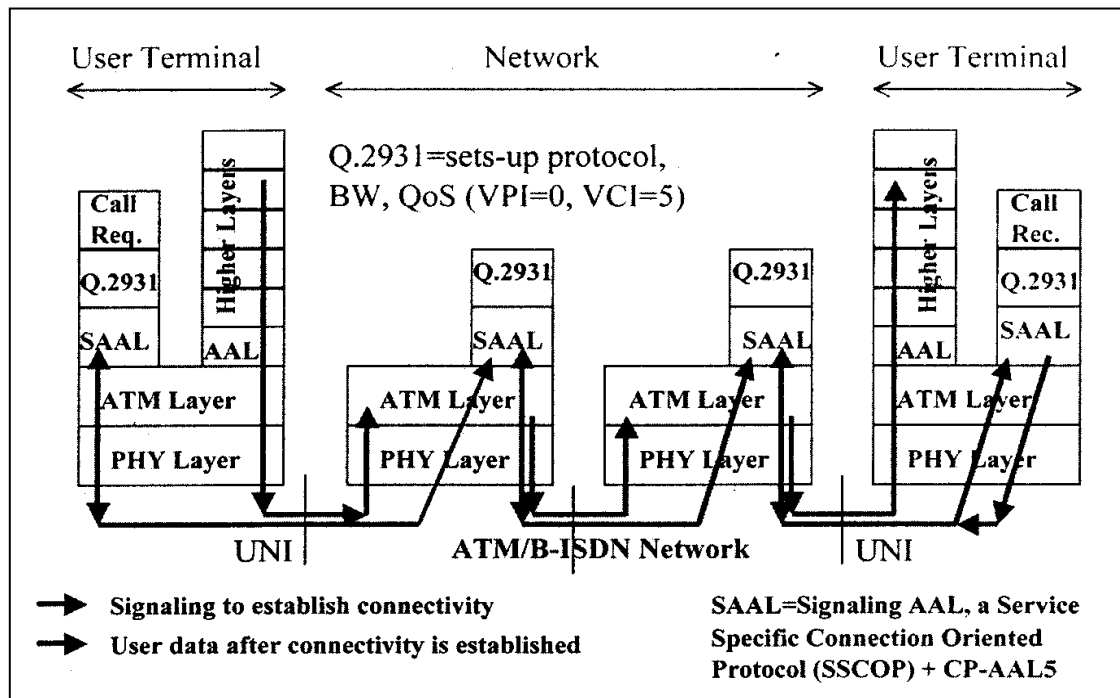


Σχήμα 6.1.1.3β Απελευθέρωση σύνδεσης CAC

Το NE A (σχήμα 6.1.1.3β) αναγνωρίζει το μήνυμα και απαντάει με RELEASE COMPLETE, απελευθερώνει τη σύνδεση, ενημερώνει τον πίνακα VC, αποσυνδέει τους προορισμένους πόρους, και στέλνει στο επόμενο NE στη διαδρομή (NE περάσματος) ένα μήνυμα RELEASE. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται από NE σε NE μέχρι να φτάσει το NE B. Το NE B στέλνει ένα RELEASE στον τερματικό χρήστη B, ο οποίος απαντάει με ένα RELEASE COMPLETE και η σύνδεση αποκόβεται οριστικά κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής.

### 3) Διαδρομή Σηματοδοσίας (Signaling Path)

Όταν ξεκινάει η αποκατάσταση μιας κλήσης, τα ATM cells τα οποία είναι προσδιορισμένα από το πρωτόκολλο UNI CAC (με VPI = 0, VCI = 5) θα σταλούν για το πρωτόκολλο αυτό. Καθώς τα cells αυτά περνούν από κόμβο σε κόμβο κατά μήκος της διαδρομής (σχήμα 6.1.1.3γ), από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στη διαδρομή, πραγματοποιείται μια διαδοχική συμφωνία η οποία επιστρέφεται στον αρχικό κόμβο UNI. Εάν η συμφωνία που επιστρέφεται είναι μεταξύ των παραμέτρων της ζητούμενης υπηρεσίας, τότε η διαδρομή αποκαθίσταται και τα δεδομένα του χρήστη (διατεταγμένα σε ATM cells) δρομολογούνται στη διαδρομή.



Σχήμα 6.1.1.3γ Σηματοδοσία CAC

### 4) Κλήσεις ανά δευτερόλεπτο

Στα πραγματικά συστήματα, μπορεί ταυτόχρονα να ζητήσουν σύνδεση περισσότερα, του ενός, τερματικά ATM. Σήμερα τα τηλεφωνικά κέντρα χειρίζονται 500 κλήσεις ανά δευτερόλεπτο, ενώ τα συστήματα ATM περίπου 200. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, αναμένεται ότι ο προσδοκώμενος αριθμός κλήσεων ανά δευτερόλεπτο θα ξεπεράσει αυτόν των

τηλεφωνικών κέντρων. Το πρωτόκολλο επεξεργάζεται ξεχωριστά κάθε σύνδεση. Γι' αυτό, η επεξεργασία πρωτοκόλλων CAC για πολλές (ταυτόχρονες) κλήσεις μπορεί να καταλήξει σε μπουτιλιάρισμα. Η ικανότητα της επεξεργασίας των κλήσεων ανά NE εξαρτάται από την ικανότητα του πρωτοκόλλου να αντεπεξέλθει σε αυτές.

#### 6.1.1.4 Δρομολόγηση

Όταν ζητηθεί μια σύνδεση μέσω της διαδικασίας CAC, ο κόμβος πρέπει να βρει την ευνοϊκότερη διαδρομή κατά μήκος του δικτύου που μπορεί να υποστηρίξει την απαιτούμενη υπηρεσία. Αυτό επιτυγχάνεται με τρεις λειτουργίες: ανταλλαγή τοπολογίας, τοπολογική βάση δεδομένων, και καθορισμός δρομολόγησης:

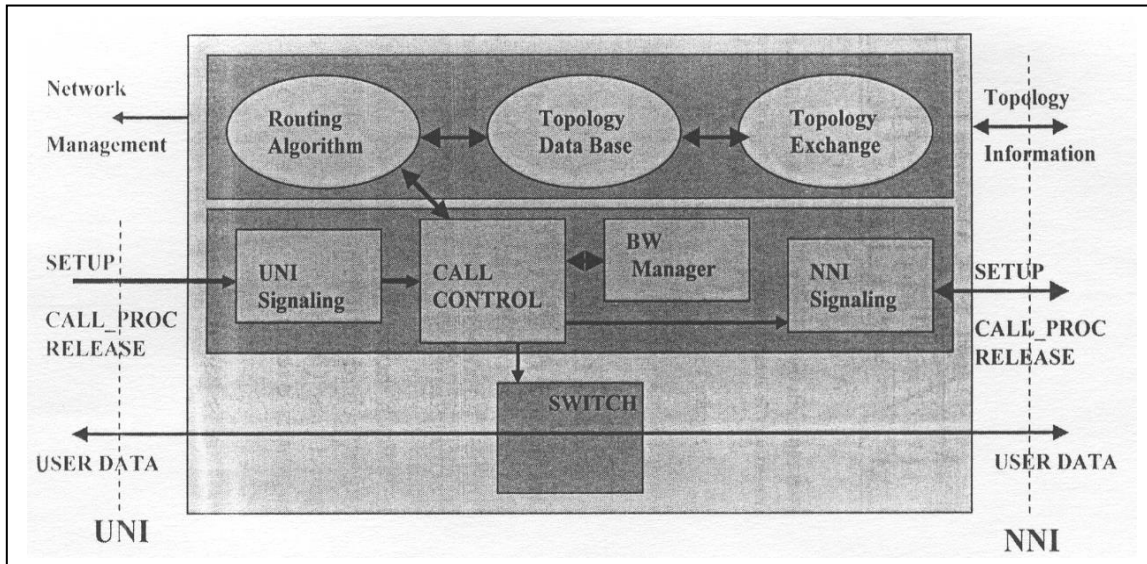
*Ανταλλαγή τοπολογίας (topology exchange):* Κάθε κόμβος διαφημίζει στους άλλους πληροφορίες για συνδέσμους (links) NNI οι οποίοι είναι προσαρτημένοι σε αυτόν. Δηλαδή, κάνει γνωστή την επιθυμία για επιπρόσθετες συνδέσεις (βασιζόμενες στη χωρητικότητα και χρησιμότητα του εύρους ζώνης). Οι πληροφορίες αυτές ανταλλάσσονται σύμφωνα με ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης της κατάστασης των συνδέσμων.

*Τοπολογική βάση δεδομένων (topology database):* Αυτή στηρίζεται στην πληροφορία για την κατάσταση του συνδέσμου η οποία έχει ανταλλαχθεί στο NNI. Βασιζόμενοι σε αυτήν την πληροφορία, κάθε κόμβος κατασκευάζει μια λογική τοπολογική βάση δεδομένων.

*Καθορισμός δρομολόγησης (route determination):* Αυτός στηρίζεται σε ένα αλγόριθμο ο οποίος επιλέγει την ευνοϊκότερη δρομολόγηση που ικανοποιεί τις παραμέτρους απόδοσης της ζητούμενης υπηρεσίας.

#### Περίληψη δρομολόγησης

Όταν ζητείται σύνδεση με σηματοδοσία SETUP, ο κόμβος UNI απαντάει στον τερματικό χρήστη με μια διαδικασία call-in (CALL\_PROC) και στέλνει το αίτημα για σύνδεση στη λειτουργία 'Διαχείριση Σύνδεσης και Κίνησης (Connection and Traffic Management)' - Call Control - όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.1.1.4.



**Σχήμα 6.1.1.4** Περίληψη δρομολόγησης CAC

Η λειτουργία Call Control στέλνει ένα μήνυμα στη λειτουργία ‘Καθορισμός Δρομολόγησης (Route Determination)’. Η τελευταία, σύμφωνα με τις πληροφορίες από την Τοπολογική Βάση Δεδομένων (Topology Database), επιστρέφει στο Call Control την καλύτερη διαθέσιμη δρομολόγηση. Ο Call Control, βασισμένος σε είδη κατειλημμένες συνδέσεις, στη χρησιμότητα και διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης (από τη λειτουργία Διαχείρισης Εύρους Ζώνης – Bandwidth Manager), και στην QoS, διαπραγματεύεται τις παραμέτρους της υπηρεσίας με τον τερματικό χρήστη.

Μόλις η υπηρεσία και οι παράμετροι συμφωνηθούν, ένα μήνυμα μεταδίδεται στη λειτουργία σηματοδότησης NNI (NNI Signaling), η οποία στέλνει ένα σήμα SETUP στον επόμενο κόμβο (NNI).

Όταν, τελικά, αποκατασταθεί η σύνδεση μεταξύ των άκρων (end-to-end), ο κόμβος UNI στέλνει τοπολογικές πληροφορίες σε όλους τους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι με αυτόν προκειμένου να ενημερώσει την τοπολογική τους βάση δεδομένων. Στέλνει ακόμη και πληροφορίες σχετικά με τη σύνδεση (δεδομένα σύνδεσης και ολικό κόστος διαδικασίας) για τη διαχείριση του δικτύου.

Όταν η σύνδεση διακόπτεται, ο κόμβος στέλνει πάλι τοπολογικές πληροφορίες σε όλους τους κόμβους που συνδέονται με αυτόν ώστε να ενημερώσει την τοπολογική τους βάση δεδομένων και να δώσει πληροφορίες για τη διακοπή της σύνδεσης (δεδομένα σύνδεσης και ολικό κόστος διαδικασίας) για τη διαχείριση του δικτύου.

### 6.1.1.5 Οι Διευθύνσεις των ATM

Η διαδικασία CAC υπονοεί ότι ένα μεταγωγικό νοητό κανάλι **SVC (Switched Virtual Channel)** αποκαθίσταται και διακόπτεται δυναμικά ανάλογα με την απαίτηση του χρήστη (ομοιάζει με την παραδοσιακή τηλεφωνία). Συνεπώς, για κάθε σύνδεση SVC, οι προορισμοί μπορεί να διαφέρουν, και άρα το ίδιο μπορεί να συμβαίνει στις τιμές VCI/VPI. Όταν μια σύνδεση SVC έχει αποκατασταθεί, οι τιμές VCI/VPI (μεταξύ γειτονικών κόμβων) πρέπει να παραμένουν μόνο όσο διαρκεί η κλήση. Από το σημείο αυτό, είναι απαραίτητη μια τυποποιημένη συμφωνία κωδικοποίησης για SVC.

Σ' ένα μόνιμο νοητό κανάλι **PVC (Permanent Virtual Channel)**, η πηγή και ο προορισμός είναι από πριν γνωστά και τα VCIs/VPIs είναι από πριν προσδιορισμένα.

#### Πεδία NSAP

Στο ATM, η διεύθυνση μοντελοποιείται από το **OSI Network Service Access Point (NSAP)**, που καθορίζεται από ITU-T X.213.

Το σχήμα του NSAP αποτελείται από δυο πεδία, το αρχικό κομμάτι πεδίου ορισμού **IDP (Initial Domain Part)** και το πεδίου ορισμού συγκεκριμένου κομματιού **DSP (Domain Specific Part)** – σχήμα 6.1.1.5 (α) και (β).

Το IDP χωρίζεται σε δυο υποεπίπεδα, στο **AFI (Authority Format Identifier)** και στο **IDI (Initial Domain Identifier)**.

Ο AFI αναγνωρίζει τη σημασία του IDI και του DSP:

Εάν AFI = 39, τότε ο IDI αναγνωρίζει τον κωδικό δεδομένων χώρας **DCC (Data Country Code)**

= 47, τότε ο IDI αναγνωρίζει το χαρακτηρισμό διεθνούς κωδικού **ICD (International Code Designator)**

= 45, τότε ο IDI αναγνωρίζει μια διάταξη γνωστή ως E.164 Format

Ο IDI καθορίζει το πεδίο ορισμού και την αυθεντικότητα της διεύθυνσης για τις τιμές του DSP:

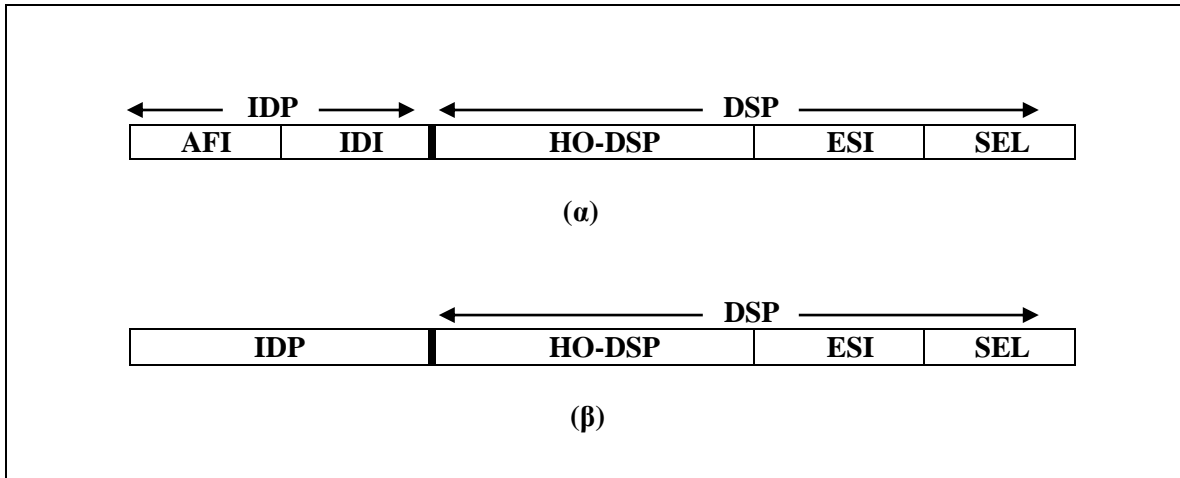
A. DCC

B. ICD

Γ. Διεύθυνση E.164



Το DSP περιέχει τη διεύθυνση που έχει αποφασιστεί από το δίκτυο και χωρίζεται σε τρία υποεπίπεδα, το **HO-DSP (High Order-DSP)**, το **ESI (End System Identifier)**, και το **EL (Selector)**.



**Σχήμα 6.1.1.5** (α) Πεδία NSAP IDP – CAC

(β) Πεδία NSAP DSP – CAC

Στο ATM, το περιεχόμενο του DSP εξαρτάται από την τιμή του AFI:

Το HO-DSP περιέχει μια ιεραρχική διεύθυνση

Ο ESI αναγνωρίζει ένα τελικό σύστημα εντός της περιοχής.

Ο SEL δε χρησιμοποιείται στα ATM, θα μπορούσε να περιέχει σημεία πρόσβασης υπηρεσιών **SAP (Service Access Point)** ανωτέρου επιπέδου.

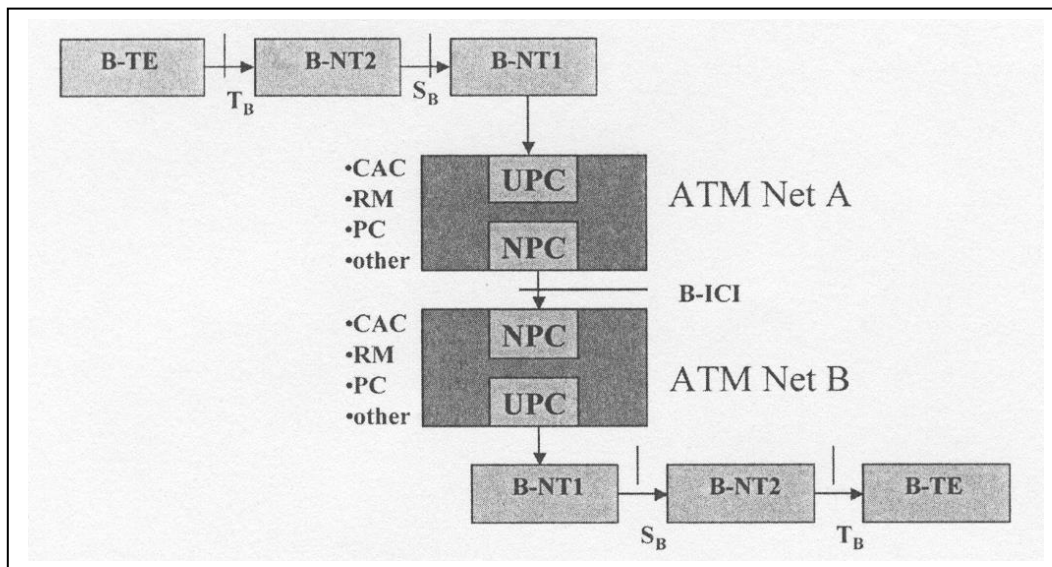
Τα δημόσια δίκτυα ATM πρέπει να στηρίζουν τη διεύθυνση E.164, και τα ιδιωτικά όλες τις διατάξεις.

### 6.1.1.6 Εγγραφή διεύθυνσης ATM

Υπάρχει μια διαδικασία για το χρήστη και το δίκτυο (στη UNI) προκειμένου να καταγραφούν οι διευθύνσεις ATM.

Η διαδικασία ξεκινάει με την τοποθέτηση αρχικών τιμών στον πίνακα διευθύνσεων (address table) από την πλευρά του δικτύου. Συνεχίζει ρωτώντας το χρήστη για διευθύνσεις, ο χρήστης επιστρέφει τις διευθύνσεις, η UNI επιστρέφει ένα προσχέδιο (prefix) του δικτύου και διευθύνσεις, ο χρήστης εγγράφει τις διευθύνσεις και αποδέχεται του όρους.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την περίπτωση σύνδεσης όπου η πηγή εγγράφεται σε μια παρεχόμενη υπηρεσία ATM και ο προορισμός σε μια άλλη. Σε μια τέτοια περίπτωση, τα δεδομένα διασχίζουν ένα όριο μεταξύ δυο παρεχόμενων υπηρεσιών, το οποίο ονομάζεται



Σχήμα 6.1.1.6 Διαμόρφωση αναφοράς UPC/NPC

Broadband Inter-Carrier Interface (B-ICI). Σε αυτή τη διεπαφή, τίθεται θέμα συμβατότητας (compatibility). Στην πραγματικότητα, μπορεί να υπάρχουν περισσότερες παρεχόμενες υπηρεσίες από δύο και άρα θα υπάρχουν και περισσότερες B-ICIs. Ανεξάρτητα από τον αριθμό των B-ICIs που υπάρχουν στη διαδρομή, τόσο οι τελικοί χρήστες όσο και οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι υποχρεωμένοι να διατηρούν τη QoS που έχει συμφωνηθεί.

### 6.1.2 Μηχανισμοί επιτήρησης της κίνησης του χρήστη (Usage Parameter Control)

Στα ATM δίκτυα ο αριθμός των κλήσεων που γίνονται αποδεκτές υπολογίζεται από το μηχανισμό CAC έτσι ώστε το δίκτυο να εγγυάται κάθε στιγμή την επιθυμητή ποιότητα

εξυπηρέτησης (QoS) κάθε κλήσης. Για να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα ο αλγόριθμος αυτός, πρέπει κάθε κλήση να τηρεί τις παραμέτρους που δήλωσε κατά τη φάση αποκατάστασή της και βάσει των οποίων ο CAC υπολόγισε αν μπορεί να γίνει αποδεκτή ή όχι στο δίκτυο. Σε διαφορετική περίπτωση, δηλ. παραβίασης των προσυμφωνηθέντων παραμέτρων μετάδοσης, από κάποιους χρήστες, με μεγαλύτερους ρυθμούς από αυτούς που δήλωσαν όταν έγιναν αποδεκτοί στο δίκτυο, είναι δυνατόν να υποβαθμιστεί η παρεχόμενη, από το δίκτυο, ποιότητα εξυπηρέτησης και να παρουσιαστεί συμφόρηση. Για την αντιμετώπιση των περιπτώσεων αυτών (κακόβουλων κλήσεων) απαιτείται ένας μηχανισμός επιτήρησης της κίνησης κάθε κλήσης, ώστε να διαπιστώνεται η συμμόρφωσή της με τα προσυμφωνημένα κατά τη φάση αποκατάστασή της. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στη παρακολούθηση των παραμέτρων κίνησης που δήλωσε ο χρήστης, στη φάση αποκατάστασης κλήσης, δηλ. μέγιστος ρυθμός μετάδοσης, μέσος ρυθμός μετάδοσης, διάρκεια καταιγισμού κ.α.

Η λειτουργία επιτήρησης ελέγχει την κίνηση που παράγεται από το χρήστη και επεμβαίνει όταν οι προσυμφωνημένες παράμετροι του εύρους ζώνης παραβιάζονται. Η λειτουργία επιτήρησης θα πρέπει να ικανοποιεί τις πιο κάτω απαιτήσεις:

- α)** Να μην υπάρχει περιορισμός των πηγών που ακολουθούν τις προσυμφωνημένες παραμέτρους κίνησης.
- β)** Να υπάρχει άμεση αντίχρεωση και επέμβαση στις παραβιάσεις των προσυμφωνημένων παραμέτρων κίνησης.
- γ)** Πρέπει να είναι οικονομικά αποτελεσματική άρα θα πρέπει να είναι απλή και εύκολα εφαρμόσιμη.

Η ιδανική θέση για τη λειτουργία επιτήρησης, είναι η απ' ευθείας εγκατάσταση της στη πηγή δηλαδή μέσα στα τερματικά των συνδρομητών. Έτσι η περίσσεια θα μπορεί να αποβάλλεται πριν να επηρεάσει το QoS των άλλων συνδέσεων μέσα στο δίκτυο. Όμως για να εμποδιστούν οι έμπειροι χρήστες να εκμεταλλευτούν τη λειτουργία επιτήρησης για το δικό τους συμφέρον, θα πρέπει η λειτουργία αυτή να τοποθετηθεί σε τέτοιο σημείο ώστε να μην έχουν σε αυτή πρόσβαση οι πελάτες. Επίσης η λειτουργία επιτήρησης πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα σημείο όπου οι προσυμφωνημένες παράμετροι είναι γνωστές. Άρα, η ιδανική θέση της λειτουργίας επιτήρησης είναι το πρώτο κέντρο εισόδου του χρήστη στο δίκτυο.

**Usage Parameter** και **Network Parameter Control (UPC/NPC)** λέγονται οι έλεγχοι επιτήρησης του χρήστη που παρουσιάζονται στη Διασύνδεση Χρήστη-Δικτύου (UNI) και Δίκτυου-Κόμβου (NNI). Πρόκειται για μια σειρά από ενέργειες εσωτερικά στο δίκτυο που σκοπό έχουν να παρακολουθήσουν και να ελέγξουν την κίνηση σε μια ATM σύνδεση όσον αφορά την κίνηση και τη δρομολόγηση των cells. Ονομάζονται και "traffic policing" του δικτύου. Ο βασικός σκοπός είναι να διασφαλίσει την προσαρμογή της κάθε ATM σύνδεσης στα ήδη προαποφασισμένα πλαίσια κίνησης (από την διαδικασία call set-up). Χωρίς την UPC/NPC συνάρτηση, βλάβες στον τερματικό εξοπλισμό, υπερβολική καθυστέρηση cells στο CPE ή ακόμα κατάχρηση κίνησης μπορούν σοβαρά να επηρεάσουν το QoS που εμπιστεύονται άλλες ήδη εγκατεστημένες συνδέσεις.

Ένας ιδανικός UPC/NPC αλγόριθμος θα μπορούσε να παρουσιάζει τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

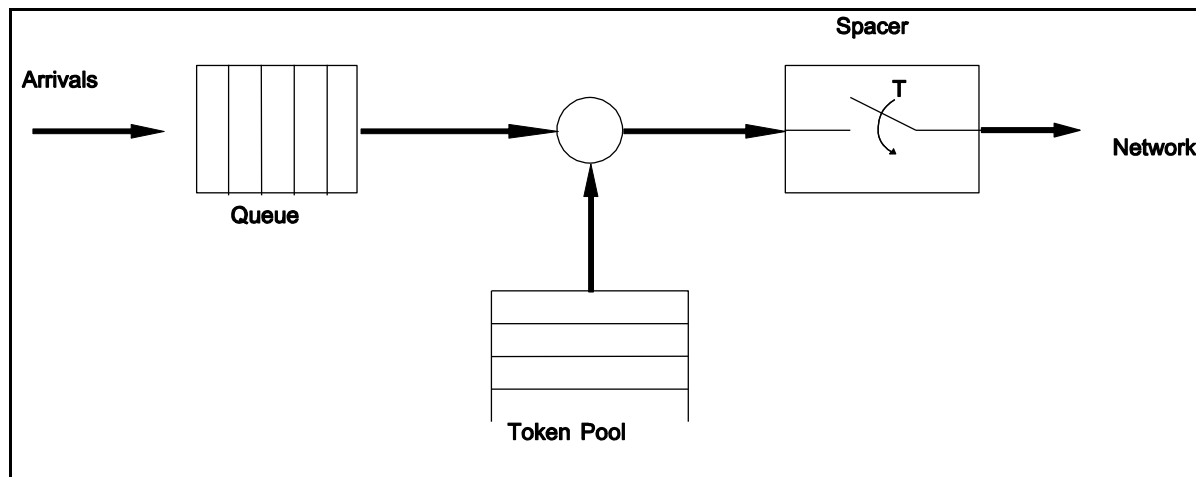
- \* Ικανότητα ανίχνευσης οποιασδήποτε κατάστασης παράνομης κίνησης.
- \* Άμεση απόκριση χρόνου σε παραβιάσεις των παραμέτρων.
- \* Ευκολία βελτίωσης.

Ο περισσότερο γνωστός μηχανισμός επιτήρησης της κίνησης κάθε κλήσης στα ATM δίκτυα είναι ο Leaky Bucket.

#### Leaky Bucket

Στο Σχήμα 6.1.2α φαίνεται μια πιθανή υλοποίηση του μηχανισμού επιτήρησης του εύρους ζώνης μιας σύνδεσης Leaky Bucket. Η υλοποίηση αυτή βασίζεται στον έλεγχο της κίνησης με τη χρήση token. Ένα cell πρώτα εισέρχεται στην ουρά εισόδου (Queue). Εάν η ουρά αυτή είναι γεμάτη τότε το cell απορρίπτεται. Για να εισέλθει στο δίκτυο, ένα cell πρέπει πρώτα να λάβει ένα token από την token-pool. Εάν δεν υπάρχει token τότε το cell πρέπει να περιμένει μέχρι να παραχθεί κάποιο. Τα tokens παράγονται με σταθερό ρυθμό που αντιστοιχεί στο μέσο ρυθμό μετάδοσης της πηγής. Εάν ο αριθμός των tokens στην token-pool ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι σταματάει η διαδικασία παραγωγής των tokens. Το κατώφλι αυτό αντιστοιχεί στο burstiness (διάρκεια κατά την οποία η πηγή εκπέμπει με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης). Όσο μεγαλύτερο είναι το κατώφλι αυτό τόσο πιο μεγάλος καταγισμός αφήνεται να περάσει στο δίκτυο.

Ο Leaky Bucket, όπως στο σχήμα και με τις παραπάνω παραμέτρους, ελέγχει το μέσο ρυθμό μετάδοσης της πηγής και επιτρέπει ένα ορισμένο βαθμό καταιγισμού να εισέλθει στο δίκτυο. Ο Leaky Bucket μπορεί να ελέγξει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της πηγής αρκεί να διαστασιολογηθεί κατάλληλα δηλ. ο ρυθμός παραγωγής cells να τεθεί ίσος με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της πηγής.



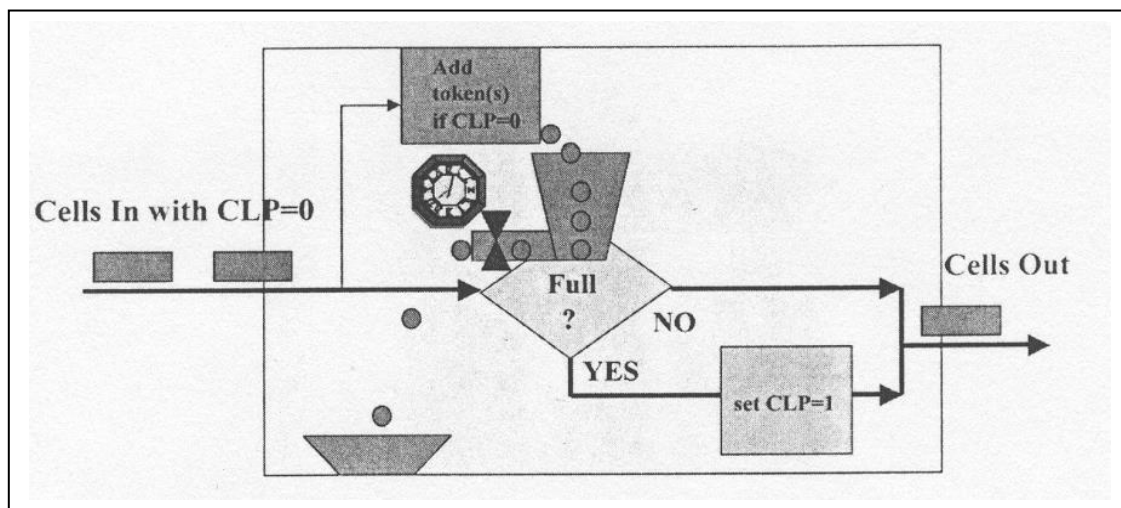
**Σχήμα 6.1.2α** Η αρχή λειτουργίας του Leaky Bucket.

Στην αρχική έκδοση του Leaky Bucket δεν προβλεπόταν ουρά στην είσοδο. Η ουρά εισόδου προτάθηκε για να εξασφαλίζει καλύτερη απόδοση και βέλτιστη σχέση μεταξύ του χρόνου καθυστέρησης των cells και της πιθανότητας απώλειάς τους. Στην ακραία περίπτωση που δεν υπάρχει ουρά εισόδου τα εισερχόμενα cells που δε βρίσκουν token δεν μπορούν να περιμένουν και πιθανά ένας μεγάλος αριθμός cells να χάνονται. Στην άλλη ακραία περίπτωση (όπου προβλέπεται μια ουρά με άπειρη χωρητικότητα) δεν θα χάνονται καθόλου cells αλλά η καθυστέρηση που θα υφίστανται θα είναι απαγορευτικά (για την ποιότητα εξυπηρέτησης) μεγάλη.

Στον Leaky Bucket τα περίσσεια cells (αυτά δηλαδή που εκτιμάται ότι παραβαίνουν τις παραμέτρους κίνησης που δήλωσε ο χρήστης κατά τη φάση αποκατάστασης της κλήσης) μπορούν είτε να απορρίπτονται είτε να μαρκάρονται. Στην περίπτωση που μαρκάρονται, με κατάλληλη εγγραφή στην επικεφαλίδα του cell (CLP=1), τα cells αυτά είναι τα πρώτα υποψήφια για απόρριψη σε όποιον κόμβο του δικτύου παρουσιαστεί συμφόρηση. Η απόδοση του δικτύου με τη λειτουργία του μαρκαρίσματος έχει αποδειχθεί ότι αυξάνεται. Αυτό γίνεται επειδή υπάρχει περίπτωση τα μαρκαρισμένα cells να φθάσουν στο προορισμό τους γιατί δε βρέθηκαν σε κόμβο που να έχει υποστεί συμφόρηση. Δηλαδή, τα cells με CLP = 1 περνούν κανονικά από έναν κόμβο όταν υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης.

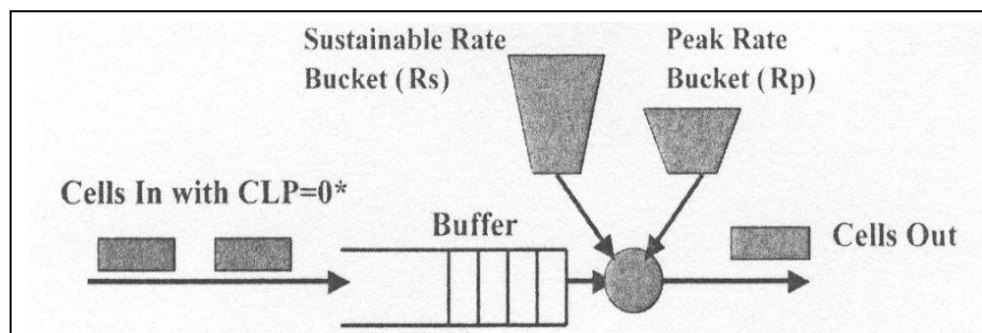
Ένα μειονέκτημα της μεθόδου μαρκαρίσματος είναι η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας σε κάθε κόμβο του δικτύου, αφού απαιτείται να γίνεται διάκριση μεταξύ cells που έχουν μαρκαριστεί ή όχι, όταν ο κόμβος είναι υπό συμφόρηση. Επιπλέον οι κόμβοι του δικτύου θα πρέπει να ελέγχουν την κατάσταση στην οποία βρίσκονται για να εντοπίζουν τις περιόδους συμφόρησης.

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται επίσης και στο επόμενο σχήμα 6.1.2β. Τα εισερχόμενα cells με  $CLP=0$ , λαμβάνουν ένα token. Εάν η μονάδα προσωρινής αποθήκευσης (bucket) υπερχειλίσει, αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι υψηλότερος του συμφωνημένου και το cell μαρκάρεται με  $CLP=1$ . Σε αντίθετη περίπτωση το  $CLP$  δεν αλλάζει.



Σχήμα 6.1.2β Υπερχειλίση του Leaky Bucket

Στην περίπτωση που ο Leaky Bucket χρησιμοποιείται για την επιτήρηση του μέσου ρυθμού μετάδοσης και της διάρκειας καταιγισμού μιας πηγής (sustainable rate), ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (peak rate) μπορεί να επιτηρείται είτε από έναν spacer (Σχήμα 6.1.2α), είτε από ένα δεύτερο μηχανισμό Leaky Bucket, σε σειρά με τον πρώτο (σχήμα 6.1.2γ).



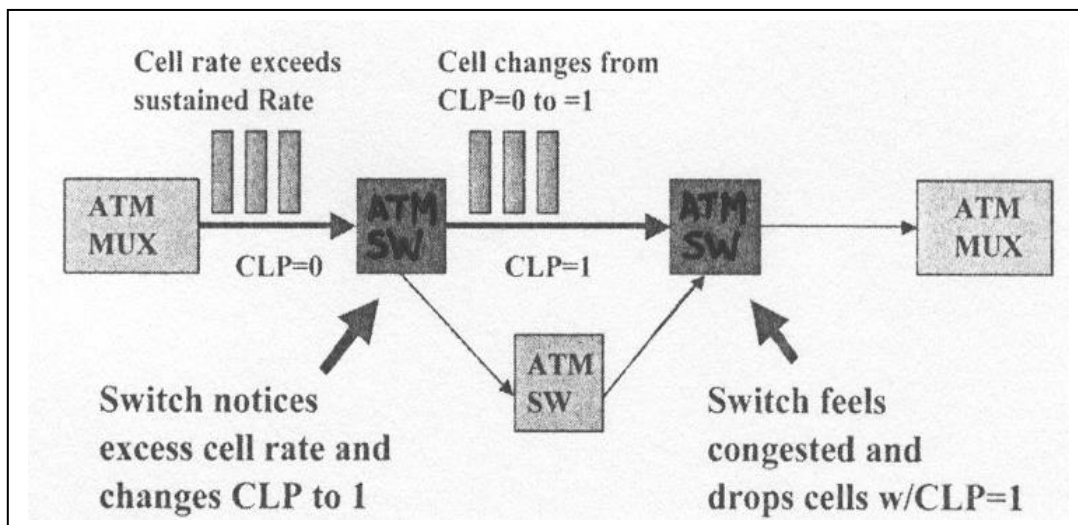
Σχήμα 6.1.2γ Διπλός Leaky Bucket

Στην περίπτωση του spacer, ο τελευταίος επιβάλλει ένα ελάχιστο χρόνο μεταξύ δύο συνεχόμενων cells ίσο με το αντίστροφο του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης της πηγής ( $T=1/MAX$ ). Δηλ. τα cells δεν μπορούν να αναχωρήσουν από την ουρά εισόδου αν δεν περάσει ο ελάχιστος χρόνος που καθορίζεται από το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (MAX).

Στην περίπτωση που απασχολούνται δυο leaky buckets (διπλός Leaky Bucket), τα εισερχόμενα cells (με  $CLP = 0$ ) ελέγχονται για αυτές τις δυο παραμέτρους (sustainable, peak rate) και αν και οι δυο ταιριάζουν, τότε τα cells αποχωρούν με  $CLP = 0$ , σε αντίθετη περίπτωση το  $CLP$  τίθεται στο 1.

### 6.1.3 Μέθοδοι διαχείρισης συμφόρησης

Η διαχείριση της συμφόρησης επιτυγχάνεται με δυο μεθόδους. Η πρώτη ελέγχει την κατάσταση του bit  $CLP$  στην επικεφαλίδα του ATM cell. Υπό συνθήκες μη-συμφόρησης το  $CLP$  παραμένει στην τιμή στην οποία είχε τεθεί: 0 ή 1.

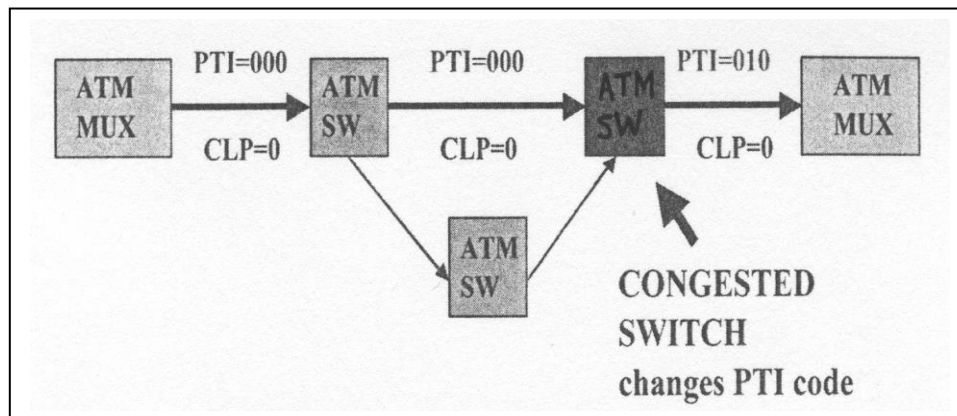


Σχήμα 6.1.3α Διαχείριση Συμφόρησης - με το bit CLP

Υπό συνθήκες συμφόρησης, το NE μπορεί να θέσει σε επιλεκτικά cells το bit  $CLP$  στο 1, ακόμη και αν η αρχική τους τιμή ήταν 0. Εάν η συμφόρηση είναι μεγάλου βαθμού, τότε το NE απορρίπτει cells με αρχική τιμή  $CLP = 1$ .

Στο σχήμα 6.1.3α παρουσιάζεται η μέθοδος που περιγράψαμε. Εάν το bit CLP τεθεί στο 1, παρόλο που υπάρχει περίπτωση το cell να περάσει ένα κόμβο με συμφόρηση (congested node), θα απορριφθεί στη συνέχεια από κάποιο διαδοχικό κόμβο.

Στη δεύτερη μέθοδο ελέγχεται η κατάσταση στο τμήμα της επικεφαλίδας PTI το οποίο αποτελείται από 3 bits. Υπό συνθήκες μη-συμφόρησης το PTI τίθεται στο 000. Σε περίπτωση συμφόρησης, το PTI επιλεκτικών cells τίθεται στο 010, αν και το bit CLP παραμένει στο 0. Αυτό είναι γνωστό ως διαχείριση συμφόρησης ελέγχοντας το **EFCN (Explicit Forward Congestion Notification)**.



Σχήμα 6.1.3β Διαχείριση Συμφόρησης - με EFCN

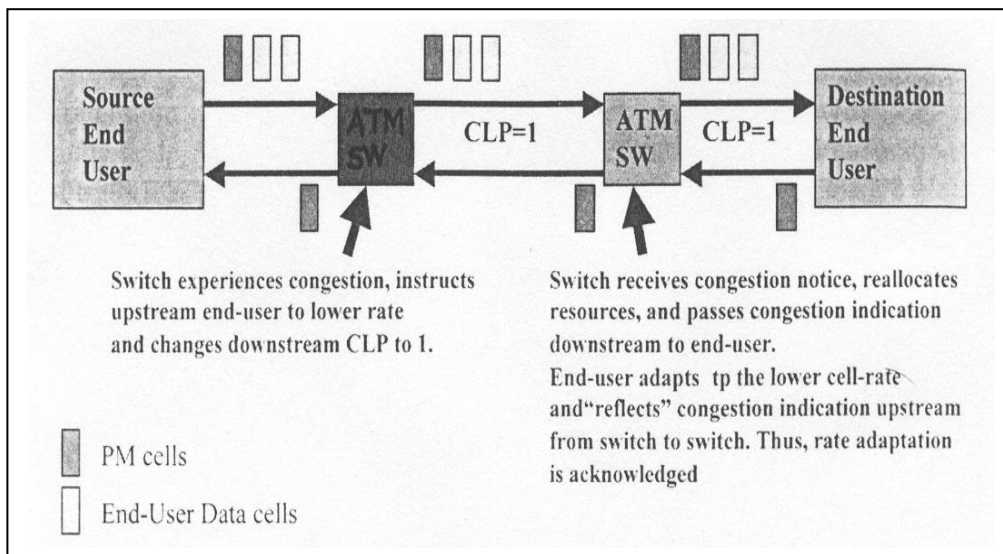
Στην περίπτωση του EFCN, μόλις η κίνηση των πληροφοριών φτάσει το όριο του εύρους ζώνης, το οποίο πλησιάζει το μέγιστο εύρος ζώνης του κόμβου, η τιμή του PTI = 000 αλλάζει σε 010 έτσι ώστε ο προορισμός να ενημερωθεί εκ των προτέρων ότι υφίσταται συμφόρηση. Ο προορισμός στέλνει την τιμή του PTI ξανά στην πηγή με αποτέλεσμα η πηγή και όλοι οι κόμβοι στη διαδρομή να μαθαίνουν για τις συνθήκες συμφόρησης που επικρατούν στη διαδρομή. Η πηγή πρέπει στη συνέχεια να επιβραδύνει το ρυθμό των cells (slow down its cell rate). Εάν αυτό εφαρμοστεί από όλες τις πηγές που λαμβάνουν PTI = 010, τότε η συμφόρηση και η απόρριψη των cells αποφεύγεται.

#### 6.1.4 Traffic Shaping

Στη διαδρομή μεταξύ δυο χρηστών υπάρχουν ένας ή περισσότεροι κόμβοι μεταγωγής (switching nodes). Καθώς η κίνηση αυξάνεται, ένας από τους κόμβους ίσως πλησιάζει σε κάποιο



προκαθορισμένο όριο συμφόρησης. Αυτό ελέγχεται από τις παραμέτρους που περιγράφουν την κίνηση (traffic descriptors). Όταν συμβαίνει αυτό, ο κόμβος μεταγωγής λέμε ότι βρίσκεται σε στάδιο κοντινής-συμφόρησης (near congestion stage). Για να αποφευχθεί η συμφόρηση, ο κόμβος της κοντινής-συμφόρησης προσπαθεί να διαπραγματευτεί ξανά με τις πηγές που υποστηρίζουν τους διάφορους ρυθμούς των cells έτσι ώστε να μειωθεί η ροή των εισερχόμενων cells. Πράγματι, ο κόμβος μεταγωγής στέλνει μέσω cells ελέγχου εκτέλεσης **PM (Performance Monitoring)**, την κατάσταση της κοντινής-συμφόρησης και προς τις δυο κατευθύνσεις, στην άνοδο και κάθοδο (σχήμα 6.1.4).



**Σχήμα 6.1.4** Διαχείριση Συμφόρησης - traffic shaping

Η κοντινή-συμφόρηση φανερώνεται αλλάζοντας το bit CLP του PM cell σε 1. Στην άνοδο, η τιμή αυτή φτάνει στο τερματικό του χρήστη (ATM) και μειώνει το ρυθμό στο ελάχιστο. Στην κάθοδο, οι κόμβοι μεταγωγής λαμβάνουν την τιμή από τον πλησιέστερο διακόπτη κοντινής-συμφόρησης, και μεταφέρουν την τιμή αυτή στον προοριζόμενο χρήστη (ATM). Ο τελευταίος αφού λάβει την τιμή στέλνει πίσω το PM cell που έλαβε με CLP = 1. Όταν αυτό το cell φτάσει στο διακόπτη, ο διακόπτης αλλάζει την τιμή του bit CLP πάλι στο μηδέν. Εν τω μεταξύ, ο χρήστης έχει μειώσει το ρυθμό των cells στο ελάχιστο, και όλοι οι διακόπτες της διαδρομής, συμπεριλαμβανομένου του χρήστη που βρίσκεται στην άλλη άκρη, προσαρμόζονται στον καινούργιο ρυθμό και έτσι οι συνθήκες κοντινής-συμφόρησης εξαλείφονται. Η διαδικασία αυτή λέγεται 'σχηματισμός της κίνησης **TS (Traffic Shaping)**'. Παρόλα αυτά, εάν η συμφόρηση επιμένει και ο σχηματισμός της κίνησης δεν μπορεί να τη διορθώσει, τα cells απορρίπτονται.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

- 1) Πώς δημιουργείται η συμφόρηση στα συστήματα ATM;
- 2) Έστω ότι ένα σύστημα ATM μπορεί να συνδέσει 200 κλήσεις ανά δευτερόλεπτο. Το μέγιστο εύρος ζώνης του συστήματος είναι 5 Gbps. Το σύστημα παρέχει μη-μόνιμη σύνδεση σε 10.000 χρήστες, με μεταβλητό ρυθμό από 50 μέχρι 150 Mbps, και μόνιμη σύνδεση σε 20.000 χρήστες με 100 Mbps. Εάν το 5% των χρηστών ζητήσει ταυτόχρονα τηλεφωνική σύνδεση, σχολιάστε την αποδοτικότητα του CAC στο σύστημα αυτό.
- 3) Περιγράψτε μηχανισμούς κατά της συμφόρησης.
- 4) Υποθέστε ότι ένας χρήστης θέλει να μεταφέρει δεδομένα με σιγουριά. Ποία πρέπει να είναι η τιμή του CLP;
- 5) Εάν σε ένα κόμβο υπάρχει συμφόρηση, τι θα συμβεί στα cells με  $CLP = 1$ ;

**ΛΙΣΤΑ ΜΕ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

**AAL** ATM Adaptation Layer  
**ADPCM** Adaptive Differential PCM  
**AFI** Authority Format Identifier  
**AIS** Alarm Indication Signal  
**AL** Alignment Field  
**AOC** Advice Of Charge  
**APD** Avalanche Photodiode  
**APS** Automatic Protection Switching  
**AR-model** Autoregressive-model  
**ARQ** Automatic Repeat Request  
**ATD** Asynchronous Time Division  
**ATM** Asynchronous Transfer Mode  
**AU** Administrative Unit  
**AUG** Administrative Unit Group  
**AUP** Administrative Unit Pointer  
**BCH** Bose - Chadhuri - Hocquenghem  
**BCN** Backward Congestion Notification  
**BER** Bit Error Rate, Basic Encoding Rules  
**BICMOS** Bipolar CMOS  
**BIP** Bit Interleaved Parity  
**BOM** Beginning Of Message  
**BRA** Basic rate Access  
**BRI** Basic Rate Interface  
**B-tag** Beginning-tag  
**BW** Bandwidth

**C-N** Container level N

**CAC** Call Acceptance Control, Connection Admission Control, Call Admission Control

**CALL\_PROC** Call-in-Process

**CATN** Community Antenna TN

**CBR** Constant- Continuous Bit Rate,

**CCBS** Calls to Busy Subscriber

**CCITT** Consultative Committee International Telegraph and Telephone

**CD** Compact Disc

**CDV** Cell Delay Variation

**CER** Cell Error Ratio

**CF** Call Forwarding

**CFB** Call Forwarding Busy

**CFNR** Call Forwarding No Reply

**CFU** Call Forwarding Unconditional

**CI** Concatenation Indication

**CLIP** Calling Line Identification Presentation

**CLIR** Calling Line Identification Restriction

**CLP** Cell Loss Probability, Cell Loss Priority

**CLR** Cell Loss Rate

**CMOS** Complementary Metal - Oxide – Semiconductor

**CMR** Cell Mis-insertion Rate

**COM** Continuation Of Message

**CPCS** Common Part CS

**CPE** Customer Premises Equipment

**CPI** Common Part Indicator

**C-plane** Control-plane

**CRC** Cyclic Redundancy Check, Cyclic Redundancy Code

**CSDN** Circuit Switched Data Network

**CS** Convergence Sub-layer

**CTD** Cell Transfer Delay

**CW** Call Waiting

**DBS** Direct Broadcast System

**DCC** Data Country Code

**DDI** Direct Dialing In

**DS** Digital Stream  
**DSI** Digital Speech Interpolation  
**DSP** Domain Specific Part  
**ECL** Emitter Coupled Logic  
**EDFA** Erbium doped Fiber Amplifier  
**EFCD** Explicit Forward Congestion Indication  
**EMI** Electromagnetic Interference  
**EOM** End Of Message  
**ESI** End System Identifier  
**ET** Exchange Termination  
**E-tag** End-tag  
**ETSI** European Telecommunications Standardization Institute  
**FCI** Forward Congestion Indication  
**FCS** Fast Circuit Switching  
**FD** Frame Discard  
**FDDI** Fiber Distributed Data Interface  
**FEC** Forward Error Correction, Forward Error Control  
**FIFO** First In First Out  
**FPS** Fast Packet Switching  
**FR** Frame Relay  
**GC** Global Control  
**GFC** Generic Flow Control  
**GMDP** Geographical Modulated Determinism Process  
**GSM** Global System for Mobile communications  
**HDB3** High Density Bipolar three-zero substitution  
**HDLC** High-level Data Link Control  
**HDTN** High Definition TN  
**HEC** Header Error Control  
**HLF** High Layer Function  
**HO-DSP** High Order-DSP  
**HW** Hardware  
**IAM** Initial Address Message  
**ICD** International Code Designator  
**ICI** Inter Carrier Interface

**IDI** Initial Domain Identifier  
**IDP** Initial Domain Part  
**IEEE** Institute of Electrical and Electronic Engineers  
**ILMI** Interim Local Management Interface  
**IP** Internet Protocol  
**IPP** Interrupted Poisson Process  
**ISDN** Integrated Service Digital Network  
**ISO** International Standards Organization  
**IT** Information Type  
**ITU** International Telecommunications Union  
**ITU-T** ITU Telecommunications standardization sector  
**LAN** Local Area Network  
**LANE** LAN Emulation  
**LAPB** Balanced Link Access Procedure  
**LC** Local Control  
**LD** Long Distance  
**LED** Light Emitting Diode  
**LI** Length Indicator  
**LSI** Large Scale Integration  
**LT** Line Termination  
**MA** Medium Adaptor  
**MAC** Media Access Control  
**MAN** Metropolitan Area Network  
**MAP** Markovian Arrival Process  
**MID** Multiplexing IDentifier, Multiplexing Indication  
**MMPP** Markov Modulated Poisson Process  
**MOU** Memorandum Of Understanding  
**MPEG** Motion Picture Experts Group  
**MRCS** Multirate Circuit Switching  
**MRFCs** Multirate Fast Circuit Switching  
**MSN** Multiple Subscriber Number  
**MSOH** Multiplex Section Overhead  
**NDF** New Data Found  
**NE** Network Element

**NNI** Network-to-Network Interface  
**NPC** Network Parameter Control  
**NSAP** Network Service Access Point  
**NT** Network Termination  
**OAM** Operations Administration and Management  
**OC** Optical Carrier  
**OSI** Open System Interconnection  
**PAD** Packet Assembler and Dis-assembler  
**PC** Personal Computer  
**PCM** Pulse Code Modulation  
**PCR** Peak Cell Rate  
**PDH** Plesiochronous Digital Hierarchy  
**PDU** Protocol Data Unit  
**PER** Packet Error Rate  
**PHY** Physical Layer  
**PIN** Positive Intrinsic Negative Photodiode  
**PIR** Packet Inserted Rate  
**PLL** Phase Locked Loop  
**PLOAM** Physical Layer OAM  
**PLR** Packet Loss Rate  
**PM** Physical Medium, Performance Monitoring  
**POH** Path Overhead  
**POTS** Plain Old Telephone Service  
**PRA** Primary Rate Access  
**PRI** Primary Rate Interface  
**PRM** Protocol Reference Model  
**PSDN** Public Switched Data Network  
**PSTN** Public Switched Telephone Network  
**PTI** Payload Type Indicator  
**PTT** Postal Telephone and Telegraph ministries  
**PVC** Permanent Virtual Channel  
**QOS** Quality Of Service  
**RACE** Research for Advanced Communication in Europe  
**RES** Reserved

**RDI** Remote Defect Indicator  
**RFI** Radio Frequency Interference  
**RSOH** Regenerator Section Overhead  
**SAD** Speech Activity Detector  
**SAP** Service Access Point  
**SAR** Segmentation and reassembly  
**SBBP** Switched Batch Bernoulli Process  
**SCR** Sustainable Cell Rate  
**SDH** Synchronous Digital Hierarchy  
**SDTN** Standard Digital TN  
**SDU** Service Data Unit  
**SEAL** Simple and Efficient AAL  
**SEL** Selector  
**SMDS** Switched Multimegabit Data Service  
**SN** Sequence Number  
**SNMP** Simple Network Management Protocol  
**SNP** Sequence Number Protection  
**SOH** Section Overhead  
**SONET** Synchronous Optical Network  
**SP** Signaling Point  
**SPE** Synchronous Payload Envelope  
**SPP** Switched Poisson Process  
**ΣΠΠ** Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας  
**SSCOP** Service Specific Connection Oriented Protocol  
**SSCS** Service Specific CS  
**SSM** Single Segment Message  
**ST** Segment Type  
**STM** Synchronous Transfer Mode  
**STS** Synchronous Transport Signal  
**SVC** Switched Virtual Channel  
**SW** Software  
**TA** Terminal Adapter  
**TASI** Time Assignment Speech Interpolation  
**TC** Transmission Convergence



**TD** Transfer Delay  
**TDM** Time Division Multiplexing  
**TE** Terminal Equipment  
**TS** Traffic Shaping  
**TU** Tributary Unit  
**TUG** Tributary Unit Group  
**UNI** User-to-Network Interface  
**UPC** Usage Parameter Control  
**U-plane** User-plane  
**UUS** User-to-User Signaling  
**VBR** Variable Bit Rate  
**VC** Virtual Channel, Virtual Container  
**VCC** Virtual Channel Connection  
**VCI** Virtual Circuit Identifier  
**VCL** Virtual Channel Link  
**VCS** Virtual Channel Switching  
**VLSI** Very Large Scale Integration  
**VP** Virtual Path  
**VPC** Virtual Path Connection  
**VPI** Virtual Path Identifier  
**VPL** Virtual Path Link  
**VPS** Virtual Path Switching  
**VT** Virtual Tributary  
**WAN** Wide Area Network

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. “Teletraffic Technologies in ATM Networks”, by Hiroshi Saito, Artech House, 1994.
2. “Asynchronous Transfer Mode Networks”, by Raif Onvural, Artech House, 1994.
3. “Broadband Telecommunications Technology”, by Byeong Gi Lee, Minh Kang, and Jonghee Lee, Artech House, 1993.
4. “Transmission Networking: SONET and Synchronous Digital Hierarchy”, by Michael Sexton and Andrew Reid, Artech House, 1992.
5. “Integrated Services Digital Networks”, by Hermann Helgert, Addison Wesley, 1991.
6. “Telecommunication Networks and Services”, by Jan van Duuren, Peter Kastelein and Frits Schoute, Addison Wesley, 1992.
7. “Asynchronous Transfer Mode – solution for broadband ISDN”, by Martin de Prycker, Ellis Horwood, 1991.
8. Yasuhiro Miyao, “A Call Admission Control Scheme in ATM Networks”, in proc. ICC’91, pp. 14.5.1 - 14.5.6, Denver, 1991.
9. Jaime Jungok Bae and Tatsuya Suda, “Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM networks”, Proceedings of the IEEE, Vol. 79, No. 2, February 1991.
10. Heffes H., and D.M. Lucantoni, “A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance”, IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 4, 1986, pp. 856-868.
11. “Understanding SONET/SDH and ATM, Communications Networks For The Next Millennium”, by Stamatios V. Kartalopoulos, IEEE PRESS 1999.
12. “Εισαγωγή Στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών”, από τον Ανδρέα Πομπορτσή, εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε. Θεσσαλονίκη 1997.
13. “ISDN, Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών, Integrated Services Digital Network, (Σύντομος Οδηγός), ΟΤΕ ΑΕ, Διεύθυνση Συντήρησης, Τμήμα Συντήρησης Κέντρων, Σ. Διώτης ΥΠΟΤ/Τ, Αθήνα Ιούλιος 1999, Δεύτερη Έκδοση.