

Κεφάλαιο 2:

Τεχνικές Μετάδοσης - Transfer Mode

2.1 Εισαγωγή

Στο αυριανό κόσμο των τηλεπικοινωνιών, αναμένεται να προστεθούν νέες υπηρεσίες, όπως π.χ. video-on-demand (εικόνα κατ' απαίτηση), εικονοτηλεφωνία, βιβλιοθήκη εικόνων, δεδομένα υψηλής ταχύτητας, ..., στις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες, όπως φωνής (POTS: η παλαιά απλή τηλεφωνική υπηρεσία), διανομής τηλεοπτικών προγραμμάτων και δεδομένων χαμηλής ταχύτητας. Η εμφάνιση των νέων αυτών υπηρεσιών δημιουργεί νέες απαιτήσεις για τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Ίσως απαιτηθούν νέες τηλεπικοινωνιακές τεχνικές (αποκαλούμενες τρόποι μεταφοράς – transfer modes), οι οποίες πιθανότατα θα παρέχουν πλεονεκτήματα που οι σημερινές τεχνικές δεν τα παρέχουν. Αυτές οι τεχνικές πολλαπλασιάζονται από τις συνεχώς αυξανόμενες τεχνολογικές δυνατότητες ως προς την ταχύτητα και την πολυπλοκότητα. Όπως θα δούμε στο κεφάλαιο αυτό, η χρήση ενός συγκεκριμένου τρόπου μεταφοράς μια δεδομένη χρονική στιγμή, επιβάλλεται από τη διαθέσιμη τεχνολογία της στιγμής εκείνης.

Λόγω των προσεχών αναγκών από τις νεοεμφανιζόμενες υπηρεσίες και της διαθέσιμης τεχνολογίας, ένας νέος τρόπος μεταφοράς έχει οριστεί για το μελλοντικό ISDN ευρείας ζώνης. Το κεφάλαιο αυτό εξηγεί λεπτομερώς όλες τις τεχνικές μεταφοράς που έχουν εξετασθεί για το B-ISDN με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αντιστοιχούν σε κάθε μια. Ακολουθώντας θα επικεντρωθούμε και θα εξετάσουμε λεπτομερώς την πιο σημαντική τεχνική, που ονομάζεται ATM (Asynchronous Transfer Mode – Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς), καθόσον η τεχνική αυτή επελέγη το 1987 από την CCITT (σημερινή ITU-T) ως ο τρόπος μεταφοράς του μελλοντικού B-ISDN. Το 1990 η CCITT εξέδωσε μια πρώτη σειρά συστάσεων (Recommendations), που καθόριζαν τις λεπτομέρειες του ATM για χρήση στο B-ISDN. Οι συστάσεις αυτές έτυχαν περαιτέρω επεξεργασίας το 1991 και 1992. Οι συστάσεις αυτές θα εξηγηθούν με περισσότερη λεπτομέρεια στο κεφάλαιο 3. Δεδομένης της αλλαγής του ονόματος της CCITT το 1994 σε ITU-T, θα χρησιμοποιούμε και τα δύο ονόματα ως συνώνυμα, διότι οι περισσότερες αποφάσεις για το ATM ελήφθησαν ενώ ήταν ακόμη η CCITT αλλά οι συστάσεις τώρα ελέγχονται και εκσυγχρονίζονται από την ITU-T.

Επιπλέον, οι **προμηθευτές του εξοπλισμού των πελατών (CPE – Customer's Premises Equipment)** έχουν αντιληφθεί ότι η αυξημένη επίδοση των σταθμών εργασίας ως προς τις δυνατότητες επεξεργασίας, και η εμφάνιση των σταθμών εργασίας πολυμέσων (**multimedia workstations**) θα δημιουργήσουν την ανάγκη ενός ισχυρού τρόπου μεταφοράς μεταξύ των υπολογιστών σ' ένα γραφείο. Στο περιβάλλον αυτό, το ATM Forum έχει αναγνωρίσει τις δυνατότητες του ATM και έχει καθορίσει τις απαραίτητες προδιαγραφές για διαλειτουργικότητα (interoperability).

2.2 Ιστορικό

Είναι ενδιαφέρον να γυρίσουμε μερικά χρόνια πίσω στην ιστορία για να ανακαλύψουμε τις βασικές αιτίες που μερικοί τρόποι μεταφοράς είχαν τόσο μεγάλη επιτυχία στο παρελθόν, ενώ άλλοι απέτυχαν πλήρως.

2.2.1 Τηλεγραφία

Ο πρώτος τρόπος μεταφοράς (transfer mode) που χρησιμοποιήθηκε στις τηλεπικοινωνίες (τον δέκατο ένατο αιώνα) ήταν ένα είδος μεταγωγής πακέτων (packet switching). Πράγματι, στην τηλεγραφία ένα πακέτο (δηλ. το μήνυμα στην προκειμένη περίπτωση) μετεδίδετο από τον ένα σταθμό αναμετάδοσης στον άλλο. Το πακέτο αυτό περιείχε τη διεύθυνση αποστολής και προορισμού και το περιεχόμενο του μηνύματος. Το είδος της τεχνικής αυτής, της μεταγωγής πακέτων, επιβλήθηκε από τα περιορισμένα τεχνολογικά μέσα της εποχής εκείνης, τα οποία ήταν μερικά καλώδια και ένας διακόπτης που δημιουργούσε τους παλμούς. Βασικά χρησιμοποιείτο η εξυπνάδα των χειριστών, οι οποίοι απεφάσιζαν τι να κάνουν με κάθε ένα επί μέρους μήνυμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο κωδικοποιούνταν τα μηνύματα ήταν λίγο ή πολύ ψηφιακός, δεδομένου ότι μόνο διακριτές τιμές ήταν δυνατόν να μεταδοθούν (παλμοί μικρής και μεγάλης διάρκειας).

2.2.2 Τηλεφωνία

Ο επόμενος τρόπος μετάδοσης, που εισήχθη στο τέλος του προηγούμενου αιώνα, ήταν η μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching), για να χρησιμοποιηθεί για POTS, δηλ. στην κλασσική τηλεφωνική υπηρεσία. Πράγματι, στην εφαρμογή αυτή, το κύκλωμα είναι μόνιμα συνδεδεμένο καθ' όλη τη διάρκεια της συνομιλίας.

Δύο βασικοί λόγοι επέβαλαν αυτόν τον τρόπο μεταφοράς:

- Η χρήση ενός σταθμού αναμετάδοσης όπως στις εφαρμογές τηλεγραφίας (δηλ. ένας χειριστής να αναμεταδίδει ολόκληρη την συνομιλία) είναι ανεφάρμοστη, αφού όχι μόνο παρεμποδίζει την απευθείας σύνδεση μεταξύ των ομιλητών αλλά μειώνει επίσης την ορθότητα της πληροφορίας που λαμβάνει ο δέκτης.
- Η ύπαρξη της τηλεφωνικής συσκευής όχι μόνο κατήργησε την κωδικοποίηση του σήματος σε «ψηφιακή» μορφή, αλλά το σήμα μπορούσε να μεταδοθεί κατευθείαν στην αναλογική του μορφή. Η μόνη απαίτηση ήταν, ότι σε κάποια σημεία του δικτύου, ένας ή περισσότεροι «διακόπτες» θα έκλειναν, ούτως ώστε να εγκατασταθεί ένα κύκλωμα απ' άκρη σε άκρη για να επιτρέψει στο σήμα να διεκπεραιωθεί από την πηγή στον προορισμό του.

Στην αρχή το κλείσιμο του διακόπτη αυτού γινόταν χειροκίνητα από κάποιον χειριστή. Με την εμφάνιση των αυτόματων διακοπών (crossbar, Strowger, ...), το άνοιγμα ή το κλείσιμο του διακόπτη ελεγχόταν μηχανικά. Αργότερα οι διακόπτες αυτοί ανοιγόκλειναν ηλεκτρομηχανικά και τελικώς ηλεκτρικά. Αλλά ακόμη και αυτή η μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη των διακοπών δεν άλλαξε τον τρόπο μεταφοράς των POTS που παρέμεινε μεταγωγή κυκλώματος. Δεν υπήρχε και ούτε υπάρχει ακόμη λόγος αλλαγής του τρόπου μεταφοράς σε ένα δίκτυο το οποίο πρέπει να μεταφέρει μόνο φωνή, δεδομένου ότι η μόνη απαίτηση της POTS είναι να έχουμε μια κλειστή σύνδεση (βρόγχο) καθ' όλη τη διάρκεια της συνδιάλεξης.

Σε μερικές ειδικές περιπτώσεις, π.χ. συνδέσεις μακρινών αποστάσεων, όπου τα κυκλώματα είναι πολύ ακριβά (π.χ. δορυφόροι) η μεταγωγή κυκλώματος ίσως δεν είναι αρκετά αποδοτική. Μάλιστα μερικές συνδιαλέξεις περιέχουν κατά 50% περιόδους σιγής και επομένως η απόδοση μπορεί να αυξηθεί, αφαιρώντας τις περιόδους σιγής της συνδιάλεξης. Οι περίοδοι σιγής μιας συνδιάλεξης μπορεί να χρησιμοποιηθούν από ενεργείς περιόδους μιας άλλης συνδιάλεξης. Η ειδική αυτή τεχνική ονομάζεται **TASI (Time Assignment Speech Interpolation – Παρεμβολή Ομιλίας Καθορισμένου Χρόνου)**. Αυτή η τεχνική στην περίπτωση των τηλεφωνικών δικτύων (POTS) δεν είναι επιτυχής για συνδέσεις μικρών και μεσαίων αποστάσεων, διότι το κέρδος από την εξοικονόμηση περίπου του 50% του κόστους μετάδοσης, δεν αντισταθμίζει το επιπρόσθετο κόστος των τερματικών και των συστημάτων μεταγωγής που απαιτούνται από την υψηλότερης πολυπλοκότητας τεχνική αυτή.

2.2.3 Δεδομένα

Όταν η αξίωση διασύνδεσης υπολογιστών και τερματικών έκανε την εμφάνισή της παρουσιάστηκε ως μια εφαρμογή για τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Στη μετατροπή της πληροφορίας των ψηφιακών υπολογιστών σε αναλογικά σήματα για το τηλεφωνικό δίκτυο, χρησιμοποιήθηκαν διαποδιαμορφωτές (**modems**). Σήμερα, ένα μεγάλο ποσοστό της διασύνδεσης υπολογιστών και τερματικών γίνεται μέσω του τηλεφωνικού δικτύου.

Το γεγονός ότι το τηλεφωνικό δίκτυο είναι εξαπλωμένο παντού είναι ένα τεράστιο πλεονέκτημα, στο οποίο συνέβαλε θετικά η μεγάλη επιτυχία του τηλεφωνικού δικτύου στις εφαρμογές (μετάδοση) δεδομένων. Επειδή όμως οι εφαρμογές δεδομένων είναι τυπικά πολύ εκρηκτικού, κρουστικού (bursty) χαρακτήρα (πολλές περιόδους σιγής μεγαλύτερες του 50% των τηλεφωνικών δικτύων), η μεταγωγή κυκλώματος δεν ταιριάζει ιδεωδώς.

Από την δεκαετία του '60 άρχισε να γίνεται αντιληπτό ότι υπήρχαν καλύτερες λύσεις, ειδικά προσαρμοσμένες στις εφαρμογές δεδομένων με τον κρουστικό χαρακτήρα. Αρχικώς δύο υποψήφιες τεχνικές μετάδοσης μελετήθηκαν: η μεταγωγή κυκλώματος και η μεταγωγή πακέτου. Και οι δύο τεχνικές έγιναν αποδεκτές από την CCITT (X.21 για τη μεταγωγή κυκλώματος και X.25 για τη μεταγωγή πακέτου). Η κρουστική φύση των πηγών δεδομένων προώθησε την επιτυχία της λύσης της μεταγωγής πακέτου, η οποία είναι διαθέσιμη τώρα στις περισσότερες χώρες. Πράγματι, στο δίκτυο μεταγωγής πακέτων οι πόροι είναι κατελημμένοι μόνο όταν η πληροφορία πραγματικά μεταβιβάζεται (κατά τη διάρκεια της καταγωγιστικής ροής), ενώ στο δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος οι πόροι είναι κατελημμένοι καθ' όλη τη διάρκεια της σύνδεσης (και κατά τη διάρκεια των περιόδων σιγής).

2.3 Τεχνικές μετάδοσης (transfer mode): Εισαγωγή

Η έκφραση "**transfer mode**" χρησιμοποιείται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, καλύπτοντας θέματα που σχετίζονται με μετάδοση, πολύπλεξη και μεταγωγή.

Θα περιγράψουμε τις πιο σημαντικές τεχνικές μετάδοσης, οι οποίες έχουν θεωρηθεί ως οι πιο πιθανές υποψήφιες για την υλοποίηση του B-ISDN και την καταλληλότητα τους ως προς τις απαιτήσεις του B-ISDN, κυρίως ως προς τη χρονική και σημασιολογική διαφάνειά τους (time and semantic transparency).

2.3.1 Μεταγωγή Κυκλώματος - Circuit Switching

Αυτός ο τρόπος μεταγωγής χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό στα τηλεφωνικά δίκτυα και εξακολουθεί και σήμερα να βρίσκει εφαρμογή στο N-ISDN. Στην κλασική μορφή της μεταγωγής κυκλώματος έχουμε ένα αφιερωμένο κύκλωμα για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η σύνδεση. Στη μορφή που προτάθηκε για το B-ISDN, έχει επιλεγεί το **TDM (Time Division Multiplexing ή πολύπλεξη με επιμερισμό χρόνου)** για να μεταφέρει την πληροφορία από τον ένα κόμβο στον άλλο.

Η πληροφορία δειγματοληπτείται περιοδικά, με μια συγκεκριμένη συχνότητα, και μεταδίδεται ανά σταθερά χρονικά διαστήματα (π.χ. 8 bits κάθε 125 μ s για 64 Kbps ή 1000 bits κάθε 125 μ s για 8 Mbps). Η μικρότερη ομάδα από bits (π.χ. τα 8 bits για τα 64 Kbps) που μεταδίδεται ονομάζεται "time-slot" και έχει καθορισμένη χρονική διάρκεια. Πολλές συνδιαλέξεις πολυπλέκονται στο χρόνο και μεταφέρονται μέσα από ένα link με τη βοήθεια των time-slots, τα οποία πολλά μαζί αποτελούν ένα πλαίσιο (frame). Το πλαίσιο με τη σειρά του επαναλαμβάνεται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Μια συνδιάλεξη καταλαμβάνει πάντα το ίδιο time-slot μέσα στο πλαίσιο (π.χ. το υπ' αριθμόν 5 ή 6) καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης.

Η μεταγωγή κυκλώματος μπορεί να έχει υλοποιηθεί εσωτερικά από διακόπτες χώρου, διακόπτες χρόνου ή συνδυασμό και των δύο.

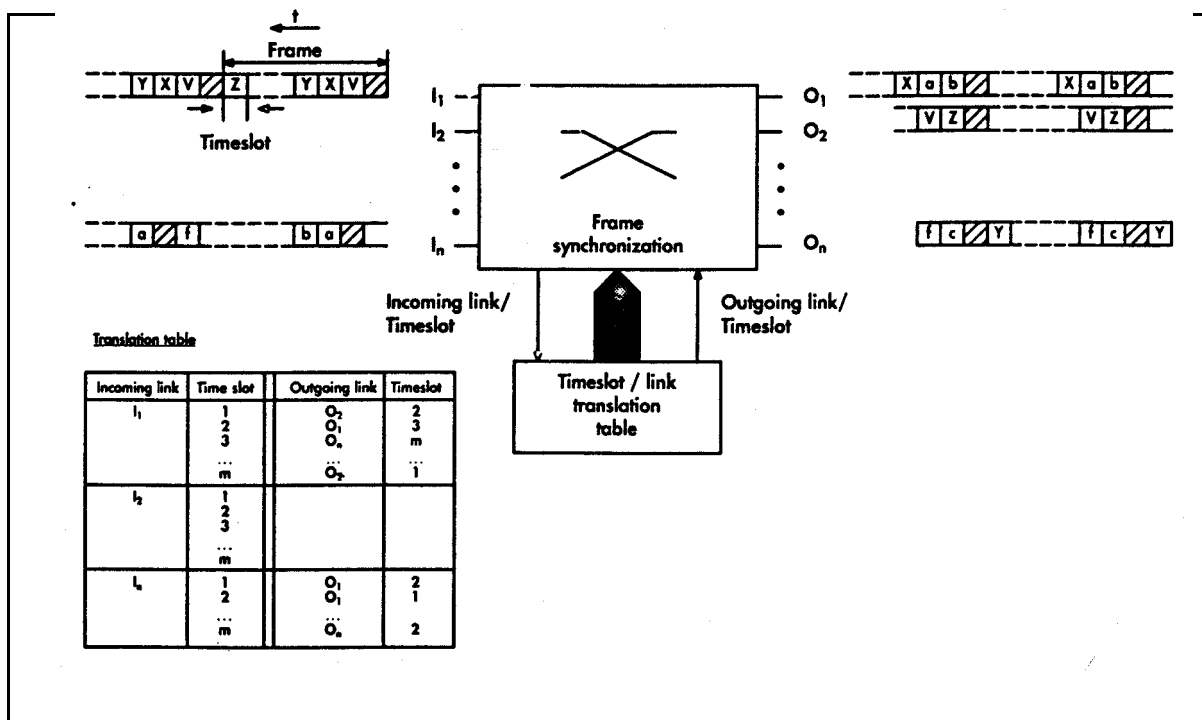
Η μεταγωγή του κυκλώματος ενός εισερχομένου link σε ένα εξερχόμενο ελέγχεται από ένα πίνακα ο οποίος περιέχει τις σχέσεις μεταξύ εισερχομένου link και συγκεκριμένου time-slot με τα εξερχόμενα link και τα συγκεκριμένα time-slot. Όπως φαίνεται και στο σχ. 2.3.1 η συνδιάλεξη N στο εισερχόμενο link I_1 που καταλαμβάνει πάντα το time-slot 1 σε κάθε πλαίσιο του link θα μετάγεται πάντα στο εξερχόμενο link O_2 στο time-slot 2.

Μόνο όταν τελειώσει η σύνδεση της συγκεκριμένης συνδιάλεξης μπορεί το time-slot 1 του link I_1 να μεταφερθεί σε άλλο time-slot άλλου εξερχομένου link ή του ίδιου. Αυτός ο περιορισμός που μας απαγορεύει την αλλαγή link και time-slot σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης ορίζει το "κύκλωμα".

Στα συστήματα μεταγωγής κυκλώματος το **Bit Error Rate (BER)** εξαρτάται βασικά από δύο παράγοντες:

- Άμεσα λάθη στα bits του πεδίου πληροφορίας. Αυτά μπορεί να είναι είτε μεμονωμένα λάθη bit (single bit errors) που προκαλούνται λόγω δυσλειτουργίας στη μετάδοση ή τη μεταγωγή, είτε διαδοχικά, κρουστικά (burst errors) που προκαλούνται για την προστασία της μεταγωγής (protective switching).
- Έμμεσα λάθη στα bit του πεδίου πληροφορίας που προκαλούνται λόγω ολίσθησης των bit και απώλειας συγχρονισμού του πλαισίου. Στην περίπτωση που χαθεί ο συγχρονισμός του πλαισίου

τότε όλα τα bits σε πολλά συνεχόμενα πλαίσια θα χαθούν μέχρι να αποκατασταθεί και πάλι ο συγχρονισμός.



Σχήμα 2.3.1 Μεταγωγή κυκλώματος

Η καθυστέρηση στα συστήματα μεταγωγής κυκλώματος ορίζεται βασικά από την καθυστέρηση διάδοσης στο link μετάδοσης και της επεξεργασίας στους διακόπτες. Για ψηφιακούς διακόπτες στενής ζώνης, η ITU-T ορίζει ότι η τιμή αυτή (καθυστέρηση επεξεργασίας) δεν πρέπει να ξεπερνά κατά μέσο όρο τα 450 μsec .

Θεωρητικά, η καθυστέρηση επεξεργασίας είναι σταθερή για όλα τα κομμάτια πληροφορίας της ίδιας σύνδεσης και εξαρτάται από την ταχύτητα των διακοπών χώρου/χρόνου. Μικρή διαφορά στην τιμή αυτή (jitter) μπορεί να παρατηρηθεί λόγω ολίσθησης του χρόνου (time slips) και wander (περιπλάνηση) στα link (ζεύξεις) μετάδοσης.

Η μεταγωγή κυκλώματος στερείται ευελιξίας διότι η διάρκεια των time-slots είναι προκαθορισμένη και κατά συνέπεια ο ρυθμός των bits σταθερός. Για παράδειγμα στην PCM μετάδοση, η διάρκεια 1 time-slot είναι 8 bits ανά 125 μs οπότε προκύπτει ένας ρυθμός bits ίσος με 64 kbits/sec.

Αφού μόνο μία βασική οντότητα (το κανάλι ορίζεται ως το time-slot που επαναλαμβάνεται με τη συχνότητα του πλαισίου) είναι διαθέσιμη για μεταφορά πληροφορίας, η λύση αυτή δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Μάλιστα οι υπηρεσίες ευρείας ζώνης έχουν ρυθμούς που ξεκινούν από πολύ χαμηλά και φτάνουν πολύ υψηλά, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Λογικά θα έπρεπε ο μεγαλύτερος ρυθμός να επιλεγεί ως ο βασικός ρυθμός για να μπορεί να υποστηρίξει όλες τις υπηρεσίες π.χ. 140 Mbit/s. Ερχόμαστε τώρα στην περίπτωση που έχουμε να μεταδώσουμε μία υπηρεσία της οποίας ο ρυθμός ήταν 1 kbit/s. Μολονότι δεν θα είχαμε πρόβλημα στο να μεταδώσουμε την υπηρεσία αυτή θα μας δημιουργούσε ένα άλλο πρόβλημα. Η υπηρεσία θα καταλάμβανε ολόκληρο το κανάλι των 140 Mbit/s ενώ θα εκμεταλλευόταν μόνο το 1 kbit/s με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση του συστήματος. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μία μεταγωγή κυκλώματος δεν είναι κατάλληλη για ένα καθολικό δίκτυο ευρείας ζώνης.

2.3.2 Μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού

Για να ξεπεράσουμε την ανελαστικότητα του απλού ρυθμού μετάδοσης των bits, όπως στην περίπτωση που έχουμε καθαρά μεταγωγή κυκλώματος, αναπτύχθηκε μία πιο βελτιωμένη έκδοση η οποία ονομάστηκε **μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού (MultiRate Circuit Switching - MRCS)**.

Το σύστημα μετάδοσης των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού είναι ταυτόσημο με αυτό των απλών δικτύων μεταγωγής κυκλώματος, με τη διαφορά ότι τώρα μία σύνδεση μπορεί να καταλαμβάνει n ($n \geq 1$) βασικά κανάλια (δηλ. n σχισμές χρόνου στο ίδιο πλαίσιο). Έτσι κάθε σύνδεση μπορεί να προκύψει ως πολλαπλάσιο του ρυθμού του βασικού καναλιού. Αυτή η δυνατότητα έχει χρησιμοποιηθεί για την videophony (οπτική τηλεφωνία) στο N-ISDN. Οι κωδικοποιητές εικόνες που έχουν αναπτυχθεί για τα οπτικά τηλέφωνα στο N-ISDN, και τυποποιήθηκαν με την υπόδειξη H.261, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε ρυθμούς n φορές το 64kbit/s ($n \leq 30$).

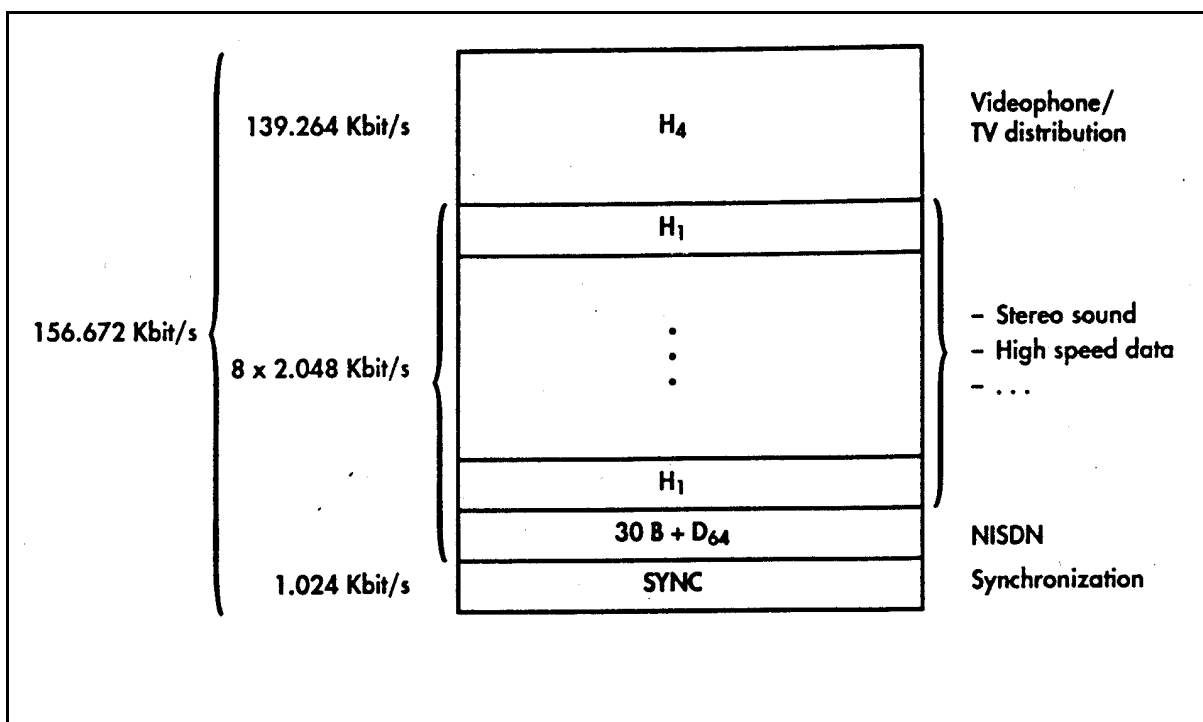
Τα συστήματα μεταγωγής που βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού είναι πιο πολύπλοκα σε σχέση με τα καθαρά συστήματα μεταγωγής κυκλώματος αφού τα ξεχωριστά κανάλια μιας σύνδεσης πρέπει να παραμένουν συγχρονισμένα. Όντως, εάν κάθε κανάλι μεταγεται ξεχωριστά, δε διατηρείται ο συγχρονισμός συσχέτισης και η πληροφορία ενός καναλιού μπορεί να μεταφερθεί με μία καθυστέρηση μικρότερη από αυτήν ενός άλλου καναλιού. Αυτός ο αποσυγχρονισμός δεν είναι αποδεκτός από πλευράς εξυπηρέτησεως διότι το τερματικό που λαμβάνει την πληροφορία θεωρεί όλα τα κανάλια ως μία οντότητα.

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στα πολλαπλού ρυθμού συστήματα μεταγωγής κυκλώματος είναι ο καθορισμός βασικού ρυθμού. Στην πράξη έχουμε να αντιμετωπίσουμε υπηρεσίες με πολύ χαμηλό ρυθμό, όπως για παράδειγμα η τηλεμετρία με 1 kbit/s και άλλες με πολύ μεγάλο όπως είναι η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) με 140 Mbit/s. Αν πάρουμε ως βασικό κανάλι αυτό με το μικρότερο (στην περίπτωση μας το 1kbit/s) ρυθμό, παρατηρούμε ότι απαιτείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός βασικών καναλιών για να πετύχουμε σύνδεση με ψηλό ρυθμό (για την HDTV χρειαζόμαστε

140.000 βασικά κανάλια) πράγμα που αυξάνει την πολυπλοκότητα στη διαχείριση και το συσχετισμό των καναλιών.

Αν επιλέγαμε ως βασικό κανάλι ένα με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό για να απαλείψουμε την πολυπλοκότητα διαχείρισης των ξεχωριστών καναλιών θα καταλήγαμε στην αντικοινωνική εκμετάλλευση του μέσου μετάδοσης λόγω σπατάλης μεγάλου εύρους ζώνης στις υπηρεσίες χαμηλού ρυθμού. Αν επιλέξουμε για παράδειγμα 2 Mbit/s ως βασικό ρυθμό (εξακολουθούμε να χρειαζόμαστε 70 βασικά κανάλια για την HDTV) τότε όλες οι υπηρεσίες φωνής (64kbit/s) και δεδομένων χαμηλής ταχύτητας θα είχαν τεράστια σπατάλη στην εκμετάλλευση του εύρους ζώνης (bandwidth) σε κάθε τους σύνδεση.

Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα της επιλογής του ρυθμού για το βασικό κανάλι προτάθηκε μία άλλη λύση στην οποία γινόταν χρήση πολλών βασικών καναλιών με διαφορετικούς ρυθμούς. Στην περίπτωση αυτή το βασικό πλαίσιο χωρίζεται σε σχισμές χρόνου με διαφορετικά μήκη (σχ. 2.3.2).



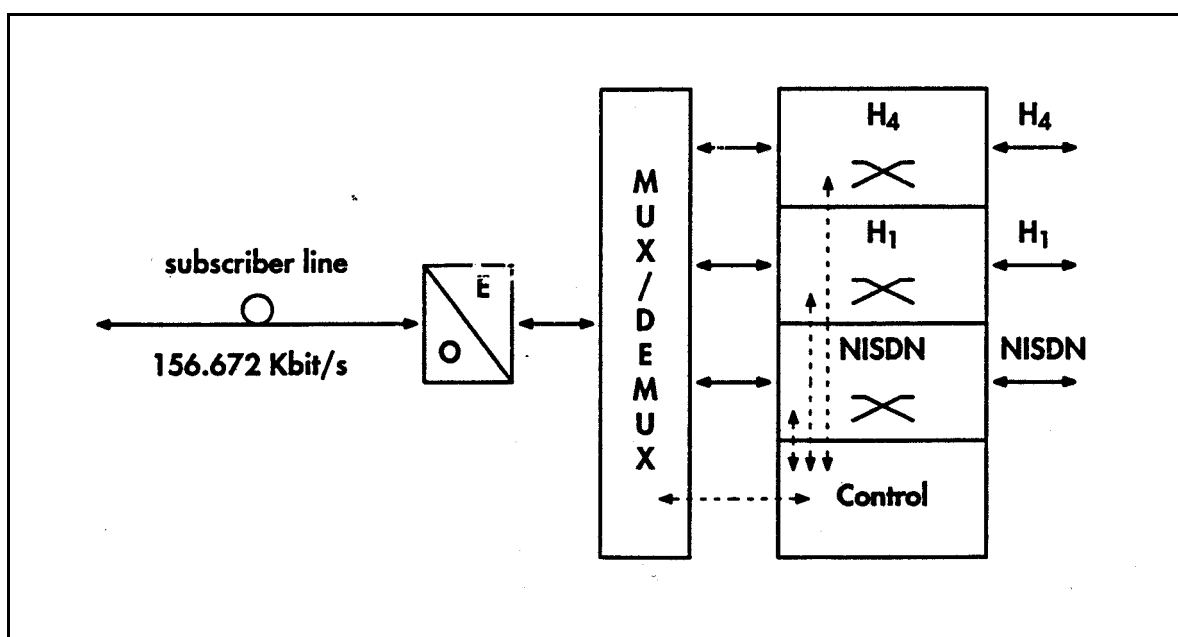
Σχήμα 2.3.2 MRCS με διαφορετικά κανάλια βασικού ρυθμού

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.3.2, ένα κανάλι των 139.264 kbps (kbit/sec) πολυπλέκεται με 7 κανάλια των 2.048 kbps, με 30 B κανάλια και ένα D κανάλι των 64 kbps για σηματοδότηση. Επιπλέον υπάρχει και ένα κανάλι το οποίο είναι υπεύθυνο για το συγχρονισμό του πλαισίου, δείχνει δηλ. τα όρια του πλαισίου στο τερματικό. Έτσι έχουμε μια συνολική χωρητικότητα 156.672 kbps.

Το H_4 κανάλι των 139.264 kbps χρησιμοποιείται για την videophone (εικονο-τηλέφωνο) και τις τηλεοπτικές υπηρεσίες. Τα H_1 κανάλια των 2048 kbps χρησιμοποιούνται για ήχο υψηλής πιστότητας (HiFi), δεδομένα υψηλής ταχύτητας και άλλες υπηρεσίες μεσαίας ταχύτητας. Το N-ISDN κανάλι χρησιμοποιείται για φωνή και δεδομένα χαμηλής ταχύτητας.

Μέχρι τώρα έχουμε δει ένα πιο αποδοτικό τρόπο κατανομής των πιθανών υπηρεσιών στα διαθέσιμα κανάλια με μερικούς όμως περιορισμούς που οφείλονται κυρίως στην επιλογή των καταλλήλων καναλιών.

Ένα σύστημα μεταγωγής το οποίο κατασκευάζεται για να εξυπηρετήσει αυτό το σκοπό, αποτελείται από επικαλυπτόμενους διακόπτες, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι για ένα συγκεκριμένο ρυθμό καναλιού ο κάθε ένας. Μια πιθανή αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 2.3.3 όπου βλέπουμε ότι η πληροφορία που έρχεται από τη/πηγαίνει στη συνδρομητική γραμμή αποπολυπλέκεται/πολυπλέκεται στα διάφορα κανάλια τα οποία μετά συνδέονται σε διαφορετικούς διακόπτες. Ο έλεγχος και η συντήρηση μπορεί να είναι κοινά για τους διαφορετικούς διακόπτες.



Σχήμα 2.3.3 Αρχιτεκτονική διακόπτη για MRCS με διαφορετικά κανάλια βασικού ρυθμού

Η αρχιτεκτονική όμως αυτή δεν εκμεταλλεύεται αποδοτικά τους πόρους της. Ας υποθέσουμε ότι όλα τα κανάλια H_1 είναι κατειλημμένα και μας ζητείται να υλοποιήσουμε ακόμη μία σύνδεση H_1 . Η σύνδεση αυτή δεν μπορεί να επιτευχθεί έστω και αν ο διακόπτης H_4 είναι ελεύθερος. Είναι σαφές ότι το σύστημα αυτό αντιμετωπίζει πρόβλημα ευελιξίας μιας και τα βασικά κανάλια έχουν από πριν καθοριστεί και οι υπηρεσίες που μπορούν να εξυπηρετηθούν πρέπει να έχουν ρυθμούς που να ταιριάζουν σε αυτά τα κανάλια.

Η λύση αυτή γίνεται ακόμη χειρότερη όταν κάποιος θεωρήσει και ένα αριθμό αγνώστων υπηρεσιών οι οποίες θα είναι απόρροια της τεχνολογικής ανάπτυξης, οι οποίες θα πρέπει να εξυπηρετηθούν από αυτό το σύστημα. Ας υποθέσουμε ότι τώρα οι ρυθμοί των καναλιών καθορίζονται από τις κύριες υπηρεσίες που είναι η καλωδιακή TV με 140 Mbit/s, τα δεδομένα υψηλής ταχύτητας στα 2 Mbit/s και οι N-ISDN υπηρεσίες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το πλαίσιο ορίζεται όπως στο σχ. 2.3.2. Λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογική ανάπτυξη στην οπτικοακουστική κωδικοποίηση, σε μερικά χρόνια η καλωδιακή TV θα απαιτεί μόνο 25 Mbit/s ενώ τα δεδομένα υψηλής ταχύτητας θα έχουν φτάσει σε ρυθμούς γύρω στα 10 Mbit/s. Επιπλέον κάνει την εμφάνιση της μία νέα υπηρεσία η εικονο-τηλεφωνία (videophony) με ρυθμό 1 Mbit/s. Τα κανάλια που ορίστηκαν προηγουμένως και οι διακόπτες που κατασκευάστηκαν για το αρχικό σύστημα δε θα μπορούν να δουλέψουν τώρα αποδοτικά. Και το σημαντικότερο είναι ότι, καλωδιακή TV και δεδομένα υψηλής ταχύτητας δεν μπορούν να στέλνονται ταυτόχρονα μέσα από το πλαίσιο των 156 Mbit/s έστω και αν απαιτούν μαζί ένα ρυθμό μόνο 35 Mbit/s.

Άλλο ένα σημαντικό μειονέκτημα και των δύο μεθόδων (μεταγωγής κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού και της βελτιωμένης της έκδοσης) είναι ότι δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν αποτελεσματικά σε πηγές με αυξομειούμενο ή κρουστικό χαρακτήρα, διότι όπως και στη μεταγωγή κυκλώματος, οι πόροι είναι κατειλημμένοι ακόμη και στην περίπτωση που το τερματικό του αποστολέα βρίσκεται σε παύση (idle κατάσταση). Ο ρυθμός που πρέπει να επιλέγεται για το κανάλι σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το ρυθμό αιχμής της πηγής.

Πειράματα με βάση αυτή τη γενική ιδέα σχεδίασης έγιναν σε διάφορες χώρες. Λόγω όμως της έλλειψης ευελιξίας και της ανικανότητας διαχείρισης κρουστικών πηγών αποτελεσματικά, δεν προτιμήθηκε από την CCITT ως το σύστημα μεταγωγής για το μελλοντικό δίκτυο ευρείας ζώνης.

2.3.3 Γρήγορη μεταγωγή κυκλώματος

Σε μια προσπάθεια επέκτασης της μεταγωγής κυκλώματος με σκοπό την κάλυψη πηγών με αυξομειούμενη ή κρουστική συμπεριφορά προτάθηκε η **γρήγορη μεταγωγή κυκλώματος (Fast Circuit Switching - FCS)**. Η διαφορά της από τις προηγούμενες προτάσεις είναι ότι σε ένα δίκτυο FCS οι πόροι είναι κατειλημμένοι μόνο όταν το τερματικό στέλνει πληροφορία και ελευθερώνονται όταν κάνει παύση.

Μπορεί κάποιος να πει ότι η FCS σχετίζεται με τη μεταγωγή κυκλώματος όπως σχετίζεται η μεταγωγή πακέτων χωρίς σύνδεση (μεταγωγή αυτοδύναμων πακέτων) με τη μεταγωγή πακέτων με σύνδεση υπό την έννοια ότι οι πόροι (δηλ. τα κανάλια) δεν είναι μόνιμα κατειλημμένοι αλλά καταλαμβάνονται μόνο όταν αυτό είναι αναγκαίο. Η ανάθεση αυτή στα κανάλια γίνεται για κάθε

"burst", όπως και στην περίπτωση της μεταγωγής αυτοδύναμων πακέτων αλλά τώρα κάτω από τον έλεγχο της γρήγορης σηματοδοσίας συσχέτισης (fast "associate" signalling), όπου αυτή η πληροφορία σηματοδοσίας παρουσιάζεται στην επικεφαλίδα του αυτοδύναμου πακέτου στην αντίστοιχη μέθοδο μεταγωγής.

Κατά την οργάνωση της κλήσης, αν ο χρήστης απαιτεί σύνδεση με εύρος ζώνης ίσο με ακέραιο πολλαπλάσιο του βασικού ρυθμού το σύστημα δε θα κάνει κατάληψη των πόρων του, αλλά θα αποθηκεύσει σε ένα διακόπτη την πληροφορία για το απαιτούμενο εύρος ζώνης και τον επιλεγμένο προορισμό και θα αναθέσει σε μία επικεφαλίδα στο κανάλι σηματοδοσίας την αναγνώριση της σύνδεσης. Όταν η πηγή αρχίσει την αποστολή πληροφοριών τότε η επικεφαλίδα ζητά άμεση παραχώρηση των καταλλήλων πόρων. Δεδομένου όμως του γεγονότος ότι οι πόροι διατίθενται κατά απαίτηση υπάρχει η πιθανότητα το σύστημα να μη μπορεί να ικανοποιήσει τη στιγμιαία αίτηση λόγω έλλειψης πόρων.

Ασφαλώς αν συνδυάσουμε το FCS και το MRCS, δηλ. συνθέσουμε την αποκαλούμενη γρήγορη μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού (MRFCS), τότε μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από υπηρεσίες διαφόρων ρυθμών. Η λύση αυτή είναι αποδοτική και για υπηρεσίες με κρουστική συμπεριφορά, εξακολουθεί όμως να παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα ειδικά στην πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και στον έλεγχο του συστήματος. Μάλιστα το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να αποκαθιστά και να απολύει συνδέσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Σε μερικά εργαστήρια των Ηνωμένων Πολιτειών αναπτύχθηκαν πρωτότυπα συστήματα βασισμένα στις τεχνικές του FCS. Παρ' όλα αυτά όμως, και κυρίως λόγω των υψηλών απαιτήσεων για treating σηματοδοσία σε πολύ υψηλούς ρυθμούς, η FCS και η MRFCS δεν επιλέχθηκαν ως λύση για το μελλοντικό δίκτυο ευρείας ζώνης.

2.3.4 Μεταγωγή πακέτων

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων (Packet Switching) η πληροφορία που στέλνει ο χρήστης εσωκλείεται σε πακέτα τα οποία επιπλέον περιέχουν ένα κομμάτι πληροφορίας (επικεφαλίδα) που χρησιμεύει για τη δρομολόγηση του πακέτου μέσα στο δίκτυο, για τη διόρθωση λαθών, τον έλεγχο ροής κλπ.

Αυτά τα δίκτυα, όπως είναι το X.25, σχεδιάστηκαν στη δεκαετία του 60 όπου η ποιότητα των διαθέσιμων link μετάδοσης μπορεί να χαρακτηριστεί από μέτρια έως πτωχή, αφού ένας ρυθμός λαθών στα bits της τάξης του $BER=10^{-6}$ εθεωρείτο εξαιρετικός (**Bit Error Rate - BER**). Έτσι για μία από άκρο-σε-άκρο αποδεκτή απόδοση σε κάθε link του δικτύου, απαιτούνται πολύπλοκα πρωτόκολλα για

την εκτέλεση ελέγχων, βασικά στη ροή και τα λάθη, σε κάθε link της σύνδεσης. Αυτός ο link-by-link έλεγχος ήταν απαραίτητος λόγω της χαμηλής ποιότητας των links, για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε ότι η αύξηση της κίνησης δεν ήταν πολύ μεγάλη έτσι ώστε να μπορέσουμε να εγγυηθούμε για την απαιτούμενη σημασιολογική (semantic) διαφάνεια.

Αυτά τα πακέτα έχουν μεταβλητό μήκος, γι' αυτό και απαιτείται μια μάλλον πολύπλοκη διευθέτηση των buffers μέσα στο δίκτυο. Η ταχύτητα λειτουργίας δεν ήταν πολύ μεγάλη (τυπικά ήταν 64 kbit/s) οπότε ήταν εύκολος ο έλεγχος των buffers αυτών μέσω software. Αυτή η μικρή ταχύτητα λειτουργίας ήταν αποτέλεσμα της μεγάλης καθυστέρησης, αλλά από τη στιγμή που τα δίκτυα αυτά δε χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, η έλλειψη χρονικής διαφάνειας δε δημιουργούσε κανένα πρόβλημα.

Ουσιαστικά τα μεγάλης πολυπλοκότητας πρωτόκολλα αυξάνουν τις απαιτήσεις για επεξεργασία και την καθυστέρηση μεταγωγής μέσα στο δίκτυο. Κατά συνέπεια γίνεται δύσκολη η εφαρμογή της τεχνικής της μεταγωγής πακέτων για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (η καθυστέρηση είναι πολύ μεγάλη λόγω επαναμετάδοσης) και υπηρεσίες με μεγάλους ρυθμούς της τάξης των δεκάδων ή εκατοντάδων Mbit/s (οι απαιτήσεις επεξεργασίας είναι πολύ υψηλές). Πρέπει όμως να παραδεχτούμε ότι η μεταγωγή πακέτων εξακολουθεί να είναι πολύ αποτελεσματική, και να παρουσιάζει μεγάλη επιτυχία στη μεταφορά δεδομένων χαμηλής ταχύτητας (όπως γίνεται στο X.25). Σε μια πρώτη φάση για το N-ISDN, η CCITT σκόπευε να υποστηρίξει τη μεταγωγή πακέτων X.25 σε B/D κανάλια.

Για τη μεταγωγή πακέτων της επόμενης γενιάς, στο N-ISDN, η CCITT θεώρησε πιο βελτιωμένες μεθόδους (λύσεις) τις ονομαζόμενες "**frame-relaying**" (**επανάληψη/αναμετάδοση πλαισίου**) και "**frame-switching**" (**μεταγωγή πλαισίου**). Οι μέθοδοι αυτές δεν απαιτούν τόσες πολλές λειτουργίες όπως στο X.25 και αυτό λόγω της βελτίωσης της ποιότητας των links. Από τη στιγμή που μειώνεται ο αριθμός των λειτουργιών στους κόμβους μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της απόδοσης επεξεργασίας του δικτύου.

Στον πίνακα 2.3.4 περιγράφονται οι λειτουργίες που απαιτούνται για το κάθε ένα από τα τρία συστήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Το πρώτο είναι το κλασικό πρωτόκολλο X.25, το οποίο χρησιμοποιεί στο δεύτερο επίπεδο το **LAPB (Balanced Link Access Procedure)** του πρωτοκόλλου HDLC (High-level Data Link Control). Στο LAPB, τα links μεταξύ κόμβων και τερματικών, και τα links μεταξύ κόμβων εκτελούν όλες τις τυπικές λειτουργίες του δεύτερου επιπέδου όπως ορίζεται από το OSI. Αυτές οι λειτουργίες είναι ο καθορισμός των ορίων του πλαισίου μέσω δεικτών (flags - π.χ 01111110) και το παραγέμισμα των σχετικών bit (bit stuffing) για να εξασφαλιστεί η διαφάνεια των bits (bit transparency).

Επιπλέον αναλαμβάνει τη δημιουργία του **CRC (Cyclic Redundancy Check)** στην πλευρά εκπομπής του link και τον έλεγχο του CRC στην πλευρά λήψης όπως και την related επαναμετάδοση

των χαμένων ή λανθασμένων πλαισίων από ένα **ARQ (Automatic Repeat Request)** πρωτόκολλο. Εκτελεί επίσης έλεγχο ροής και πολύπλεξη λογικών καναλιών στο τρίτο επίπεδο.

Πίνακας 2.3.4 Λειτουργικές διαφορές κατά την αναδημιουργία των πακέτων στη μεταγωγή πακέτων

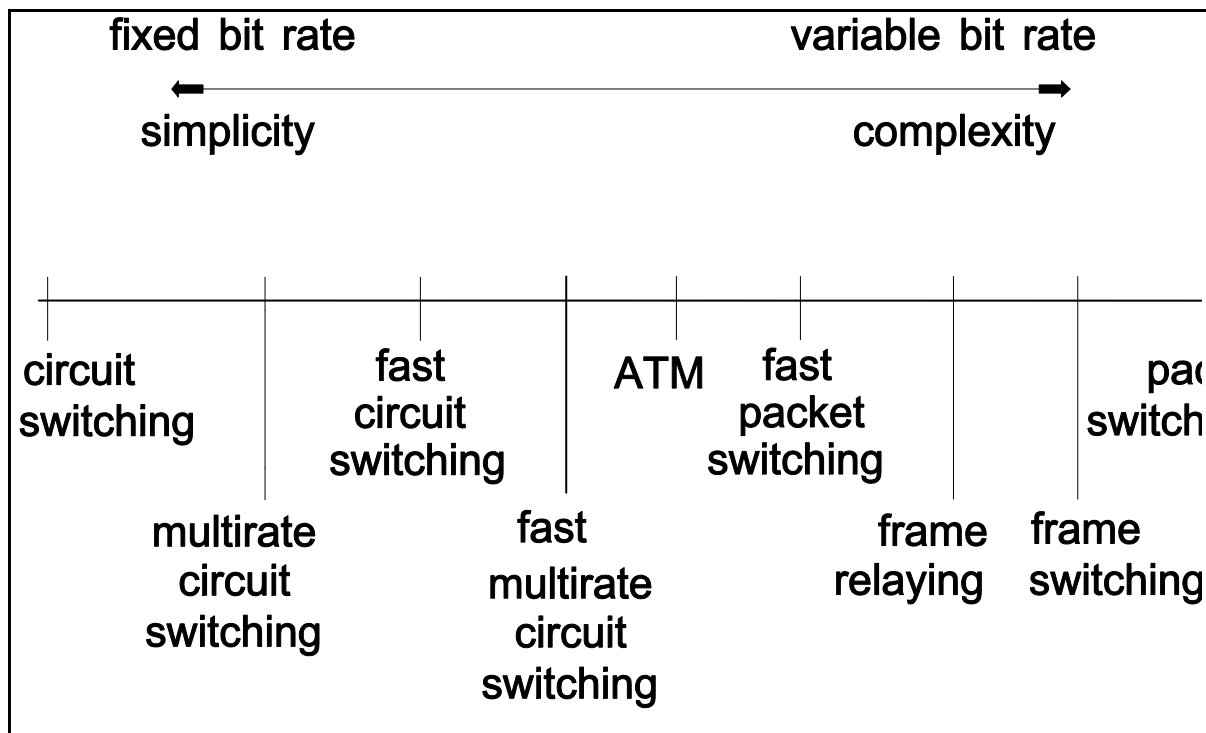
Λειτουργικότητα	X.25	Μεταγωγή Πλαισίων	Frame Relaying
Αναγνώριση περιοχής Πλαισίου (Flags)	X	X	X
Διαφάνεια bit	X	X	X
Έλεγχος/Δημιουργία CRC	X	X	X
Έλεγχος σφαλμάτων (ARQ)	X	X	-
Έλεγχος ροής	X	X	-
Πολύπλεξια λογικών Καναλιών	X	-	-

Στη μέθοδο "frame relaying" η επαναμετάδοση των λανθασμένων πλαισίων γίνεται μόνο μεταξύ των τερματικών των χρηστών (end-to-end). Μόνο μία λειτουργία ανίχνευσης, βασισμένη στο CRC, γίνεται για να απορριφθούν τα λανθασμένα πλαίσια, μιας και δεν έχει καμία σημασία η συνέχιση της αποστολής λανθασμένων πλαισίων. Επίσης δε γίνεται ούτε έλεγχος ροής των πλαισίων ούτε πολύπλεξη στο επίπεδο πακέτων.

Η μεταγωγή πλαισίων διαφέρει από την "frame relaying" στο ότι έλεγχος των λαθών και της ροής των πακέτων (flow control) διατηρείται στο επίπεδο των πλαισίων έτσι ώστε η επαναμετάδοση πλαισίου και ο έλεγχος ροής κινουμένου παραθύρου (sliding window flow control) να εκτελείται σε επίπεδο ζεύγους (link). Δεν παρέχεται όμως (δεν υποστηρίζεται) πολύπλεξη στο επίπεδο πακέτων, όπως στην περίπτωση του X.25.

Από μελέτες που έγιναν αποδείχτηκε ότι οι εφικτές ταχύτητες στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν οικονομικά οι τρεις αυτές τεχνικές είναι για το X.25 τα 2 Mbit/s, για τη μεταγωγή πλαισίου μια ταχύτητα 2 έως 4 φορές μεγαλύτερη των 2 Mbit/s, ενώ πρωτόκολλα του "frame relaying" μπορούν να λειτουργήσουν σε ταχύτητες γύρω στα 140 Mbit/s αν χρησιμοποιηθεί κατάλληλη τεχνική διαφάνειας bit.

Η "frame relaying" και η μεταγωγή πλαισίου έχουν ήδη αποσπαστεί από τον αρχικό ορισμό της μεταγωγής πακέτων και στο διάγραμμα (φάσμα) τεχνικών μεταγωγής (σχ. 2.3.4) μπορούν να τοποθετηθούν αριστερότερα της μεταγωγής πακέτων, πολύ κοντά στη γρήγορη μεταγωγή πακέτων. Σε μερικούς ορισμούς η frame relaying θεωρείται ήδη ως συνώνυμο της γρήγορης μεταγωγής πακέτων.



Σχήμα 2.3.4 Το Φάσμα της τεχνολογίας μεταγωγής

Το σχήμα 2.3.4 περιγράφει το φάσμα των τεχνικών μεταγωγής που είναι ικανές να μεταφέρουν πληροφορίες σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Γενικά οι τεχνικές προς τα αριστερά του σχήματος παρέχουν μόνο ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης και μικρή ευελιξία ενώ αυτές που βρίσκονται στα δεξιά παρέχουν αυξημένη ευελιξία στο χειρισμό ποικίλων ρυθμών μετάδοσης.

2.3.5 Γρήγορη μεταγωγή πακέτων - Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης (ATM)

Η γρήγορη μεταγωγή πακέτων είναι μια έννοια η οποία καλύπτει πολλές παραλλαγές, όλες με τον ίδιο βασικό χαρακτηριστικό δηλ. μεταγωγή πακέτων με ελαχιστοποίηση των λειτουργιών στο δίκτυο. Οι παραλλαγές αυτές έγιναν γνωστές με διάφορες ονομασίες από τις οποίες επικράτησαν η ATM (Asynchronous Transfer Mode) που είναι και η επίσημη ονομασία που χρησιμοποιείται από την

CCITT, η **ATD (Asynchronous Time Division)** που είναι η ονομασία που χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την CNET και τελευταία έγινε αποδεκτή και στην Ευρώπη, και τέλος η **FPS (Fast Packet Switching)** που είναι η τεχνική η οποία αναπτύχθηκε περισσότερο στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Η ονομασία "γρήγορη" (Fast) μεταγωγή πακέτων δόθηκε λόγω της ικανότητας του συστήματος να λειτουργεί σε πολύ υψηλότερους ρυθμούς σε σχέση με τα συνηθισμένα συστήματα μεταγωγής πακέτων χάρη στον περιορισμένο αριθμό λειτουργιών του. Στα ATD και ATM η ονομασία "ασύγχρονες" δόθηκε λόγω του ότι επιτρέπουν τη μη συγχρονισμένη λειτουργία μεταξύ των ρολογιών του αποστολέα και του αποδέκτη. Η διαφορά των δύο ρολογιών μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί με την προσθήκη (απομάκρυνση) κενών (αδιάθετων) "πακέτων" στη ροή πληροφορίας δηλ. πακέτων που δεν περιέχουν χρήσιμη πληροφορία.

Μιας και το ATM είναι η ονομασία που έγινε αποδεκτή από την ITU-T παρακάτω θα χρησιμοποιούμε μόνο αυτή αντί των δύο άλλων. Και οι τρεις αυτές παραλλαγές έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό που εγγυάται την επιτυχία τους. Έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν οποιαδήποτε υπηρεσία ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της, όπως για παράδειγμα ο ρυθμός των bits (bit rate), οι απαιτήσεις για ποιότητα μετάδοσης ή η κρουστική (bursty) φύση της. Τα μεγάλα αυτά πλεονεκτήματα ήταν και ο κύριος λόγος που οδήγησε την ITU-T στην υιοθέτηση της ATM, ως της τεχνικής μετάδοσης για το μελλοντικό B-ISDN.

Ένα δίκτυο βασισμένο σε μια τέτοια τεχνική, ανεξάρτητη της υπηρεσίας που μεταφέρει, δεν έχει τα μειονεκτήματα που αντιμετωπίσαμε στις προηγούμενες τεχνικές αλλά αντίθετα θα είναι:

(1) Ευέλικτο.

Τυχόν αναβάθμιση των αλγορίθμων κωδικοποίησης και της τεχνολογίας των VLSI μπορεί να οδηγήσει στη μείωση του εύρους ζώνης υπαρχουσών υπηρεσιών. Νέες υπηρεσίες, με άγνωστα χαρακτηριστικά, ίσως κάνουν την εμφάνιση τους στο μέλλον. Όλες αυτές οι αλλαγές μπορούν κάλλιστα να υποστηριχθούν χωρίς κάποιες τροποποιήσεις στα δίκτυα ATM και μάλιστα χωρίς απώλεια στην απόδοση. Τα ATM συστήματα μεταγωγής (switching), μετάδοσης (transmission), πολύπλεξης (multiplexing...) κ.λ.π. δε χρειάζονται τροποποίηση.

(2) Αποδοτικό στη χρήση των διαθέσιμων πόρων.

Όλοι οι διαθέσιμοι πόροι (resources) του δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλες τις υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη στατιστική κατανομή των πόρων. Αυτό συμβαίνει διότι στα ATM δίκτυα δεν υπάρχει εξειδίκευση των πόρων ανάλογα με τις υπηρεσίες (τηλεφωνία - τηλεομοιοτυπία κλπ).

(3) Ένα παγκόσμιο δίκτυο.

Αφού θα έχουμε μόνο ένα δίκτυο να σχεδιάσουμε, να ελέγχουμε, να κατασκευάσουμε και να συντηρούμε θα έχουμε μία εξοικονόμηση στο συνολικό κόστος του συστήματος που προκύπτει προς όφελος όλων (π.χ. καταναλωτές, κατασκευαστές κ.τ.λ.)

2.4 ATM: Βασικοί ορισμοί

Οι τεχνικές ATM, ATD και γρήγορη μεταγωγή πακέτων έχουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά:

(1) Δεν παρέχουν έλεγχο ροής και προστασία λαθών σε link-by-link βάση.

Αν σε μία ζεύξη (link) της σύνδεσης, είτε είναι μεταξύ χρήστη και δικτύου είτε είναι εσωτερική ζεύξη μεταξύ των κόμβων του δικτύου, παρεισφρήσει ένα λάθος κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, ή η ζεύξη είναι προσωρινά υπερφορτωμένη με αποτέλεσμα την απώλεια πακέτων, δε γίνεται κάποια ειδική ενέργεια στο link αυτό για διόρθωση του λάθους. (π.χ. αίτηση επαναμετάδοσης στο link αυτό όπως γίνεται στη μεταγωγή πακέτων).

Αυτή η προστασία από τυχόν λάθη παραλείπεται λόγω της πολύ καλής ποιότητας των link του δικτύου (δηλ. πολύ μικρό BER). Εξ άλλου δεν απαιτείται έλεγχος λαθών σε link-by-link βάση για μικρά BER. Επίσης παραλείπεται και ο έλεγχος ροής στα ATM δίκτυα. Ο κατάλληλος καταμερισμός των πόρων και η διαστασιολόγηση των μέσων αποθήκευσης (queue dimensioning) στο δίκτυο είναι σε θέση να μας εγγυηθούν ένα περιορισμένο αριθμό υπερχειλίσεων που προκαλούν απώλειες πακέτων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε πιθανότητα απώλειας πακέτων της τάξης του 10^{-8} μέχρι και 10^{-12} .

Σε ATM δίκτυα έχουμε διαφόρων ειδών λάθη όπως είδαμε και στην προηγούμενη παράγραφο της semantic transparency όπως για παράδειγμα λάθη bit, απώλειες πακέτων και προσθήκες πακέτων.

Λάθη μετάδοσης, π.χ. λάθη ενός bit ή πάρα πολλών bits (burst) έχουμε σε όλες τις τεχνικές μετάδοσης και προκαλούνται κυρίως από θόρυβο, προστασία μεταγωγής (protection switching) και απώλειας συγχρονισμού. Στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος δε γίνεται καμία ενέργεια αντιμετώπισης αυτών των λαθών μέσα στο δίκτυο, σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων, όπου παρέχεται η δυνατότητα ανίχνευσης και διόρθωσης τέτοιων λαθών μέσα στο δίκτυο (π.χ. CRC και ARQ). Από την οπτική γωνία της αντιμετώπισης των λαθών, το ATM παίρνει τη μορφή ενός δικτύου μεταγωγής κυκλώματος και βασίζεται σε πρωτόκολλα end-to-end (από άκρο σε άκρο).

Η απώλεια και η προσθήκη πακέτων που προκαλείται λόγω λαθών στην επικεφαλίδα, αναφέρεται καθαρά σε δίκτυα πακέτων. Στα κλασικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων το πρόβλημα αυτό

λύνεται μέσα στο δίκτυο με αιτήσεις επαναμετάδοσης μεταξύ των κόμβων (ARQ). Στα ATM δίκτυα όμως δε γίνεται καμία δυναμική ενέργεια για την αντιμετώπιση των χαμένων αυτών πακέτων (όπως ARQ). Το μόνο που γίνεται είναι η λήψη προληπτικών μέτρων με την κατάλληλη κατανομή των πόρων του δικτύου στην αρχή της δημιουργίας της σύνδεσης, και τον έλεγχο του κατά πόσο υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι. Η απώλεια πακέτων που οφείλεται στην υπερχειλίση είναι ένα τυπικό πρόβλημα για το ATM αφού δεν παρέχεται δυνατότητα στιγμιαίας υπερχειλίσης των πόρων αποθήκευσης (queue overflow) από διάφορες πηγές. Παρ' όλ' αυτά όμως αυτή η στιγμιαία απώλεια πακέτων ελέγχεται και περιορίζεται σε πολύ χαμηλές τιμές χάρη στην τεχνική μετάδοσης των πακέτων που απαιτεί σύνδεση (connection-oriented mode).

(2) *Το ATM βασίζεται στην τεχνική με σύνδεση (connection-oriented mode).*

Πριν από την αποστολή οποιασδήποτε πληροφορίας από τα τερματικά των χρηστών στο δίκτυο προηγείται μία διαδικασία κατά την οποία το δίκτυο βρίσκει τους απαιτούμενους πόρους, αν υπάρχουν διαθέσιμοι, που χρειάζονται για τη δημιουργία μιας νοητής (virtual) διαδρομής μέσα από την οποία στη συνέχεια θα περάσει η πληροφορία (π.χ. ελέγχεται αν υπάρχει το απαιτούμενο εύρος ζώνης, "bandwidth", που απαιτεί μία κλήση της υπηρεσίας video). Αν όμως δεν υπάρχουν επαρκείς διαθέσιμοι πόροι, το δίκτυο δεν επιτρέπει στο τερματικό να κάνει τη σύνδεση.

Όταν τελειώσει η αποστολή πληροφορίας οι πόροι του δικτύου είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιηθούν από άλλα τερματικά. Αυτή η τεχνική λειτουργίας (με σύνδεση) μας εξασφαλίζει ένα ελάχιστο ρυθμό απώλειας σ' όλες τις περιπτώσεις, και κατά συνέπεια καλύτερης ποιότητας.

Όπως είπαμε, η δημιουργία της λογικής διαδρομής γίνεται στην αρχή της κλήσης (call set-up) με τον έλεγχο του δικτύου για την ανεύρεση ελευθέρων, στατιστικώς επαρκών πόρων. Αυτό σημαίνει ότι η διάθεση των πόρων γίνεται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποφεύγεται με μια ορισμένη πιθανότητα, η υπερχειλίση στα μέσα προσωρινής αποθήκευσης. Η πιθανότητα απώλειας ενός πακέτου σε δίκτυα ATM κυμαίνεται μεταξύ 10^{-8} και 10^{-12} .

(3) *Περιορίζεται ο ρόλος της επικεφαλίδας*

Για την εξασφάλιση γρήγορης επεξεργασίας στο δίκτυο έχει περιοριστεί ο ρόλος της επικεφαλίδας. Η βασική λειτουργία του είναι η αναγνώριση της λογικής διαδρομής μέσω ενός "identifier" (μιας ταυτότητας) που επιλέγεται στην αρχή της κλήσης (call setup) και εξασφαλίζει τη

σωστή δρομολόγηση κάθε πακέτου στο δίκτυο. Επιπλέον διευκολύνει την πολύπλεξη πολλών συνδέσεων σε ένα link.

Αν συμβεί ένα λάθος στην επικεφαλίδα, θα έχει ως συνέπεια τη λάθος δρομολόγηση του πακέτου. Αυτό προκαλεί μεγάλη πολυπλοκότητα από πλευράς λαθών διότι: ένα λανθασμένο bit στην επικεφαλίδα προκαλεί n διαδοχικά λάθη (αν n είναι το μήκος του πακέτου) ως αποτέλεσμα της απώλειας του πακέτου. Για τη μείωση αυτής της πολυπλοκότητας που προκύπτει από τη λάθος δρομολόγηση εφαρμόζεται στην επικεφαλίδα μηχανισμός ανίχνευσης και/ή διόρθωσης.

Εκτός από την αναγνώριση της λογικής διαδρομής που θα ακολουθήσει η κλήση, οι λειτουργίες της επικεφαλίδας στο ATM είναι πολύ περιορισμένες και επικεντρώνονται κυρίως σε λειτουργίες συντήρησης. Όλες οι άλλες λειτουργίες της επικεφαλίδας που γίνονται στην κλασική μεταγωγή πακέτων, όπως για παράδειγμα η αρίθμηση για τον έλεγχο των λαθών και της ροής, D-bit, M-bit κτλ έχουν αφαιρεθεί.

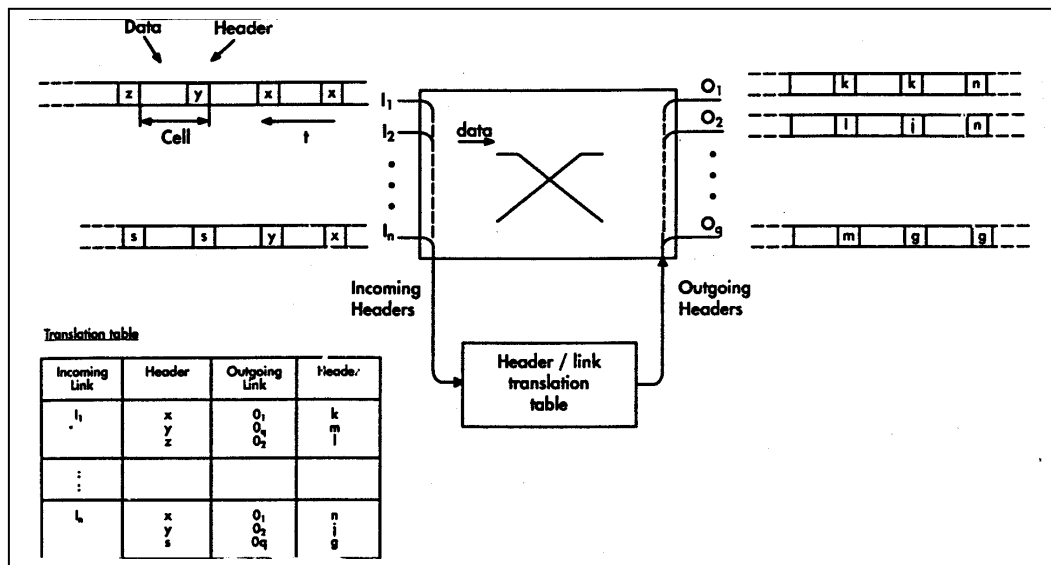
Λόγω της απλότητας και της περιορισμένης λειτουργικότητας της επικεφαλίδας, η επεξεργασία της πληροφορίας της γίνεται πολύ γρήγορα από τους κόμβους, με ταχύτητες που ξεκινούν από 150 Mbps και φτάνουν τα 600 Mbit/s. Έτσι η καθυστέρηση στους buffers και η καθυστέρηση επεξεργασίας μειώνονται αισθητά.

(4) *Το πεδίο πληροφορίας έχει σχετικώς περιορισμένο μήκος.*

Για τη μείωση των εσωτερικών buffers στους κόμβους μεταγωγής και για την ελάττωση της καθυστέρησης αναμονής στους buffers αυτούς, το μήκος του πεδίου πληροφορίας διατηρείται σχετικά μικρό. Όντως οι μικροί buffers μας εξασφαλίζουν μικρές καθυστερήσεις και μικρό delay jitter, όπως απαιτούν οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις τιμές των καθυστερήσεων αυτών θα δούμε στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού.

Η αρχή της ασύγχρονης μετάδοσης επιτρέπει την εγκατάσταση διαφόρων ειδών ATM διακοπών. Όλοι όμως οι διακόπτες έχουν την ίδια φιλοσοφία και μπορούν να αναπαρασταθούν σχηματικά από το γενικό σχήμα που απεικονίζεται κατωτέρω. Ένας αριθμός n εισερχομένων links ($I1...In$) που μεταφέρουν πληροφορία (cells) προς το διακόπτη, μετάγονται σε q εξερχόμενα links ($O1...Oq$) με βάση την επικεφαλίδα κάθε πληροφορίας.

Η επικεφαλίδα ενός εισερχομένου πακέτου μαζί με τον αριθμό του εισερχομένου link οδηγούνται σε ένα πίνακα όπου μεταφράζονται σε ένα link εξόδου και μια νέα επικεφαλίδα. Στο σχ. 2.4 βλέπουμε ότι τα πακέτα με επικεφαλίδα x , στο link εισόδου 1, μετάγονται στο link εξόδου 1 με επικεφαλίδα k , και τα πακέτα με επικεφαλίδα y , στο link εισόδου n , μετάγονται στο link εξόδου 2 με επικεφαλίδα j .



Σχήμα 2.4 Αρχή της μεταγωγής ATM

Προσοχή όμως γιατί το σχήμα αυτό είναι απλά ένα λειτουργικό διάγραμμα και δε μας δίνει λεπτομέρειες σχετικά με την εκτέλεση της μεταγωγής.

2.5 ATM: Χαρακτηριστικά λειτουργίας – Ποιότητα Υπηρεσίας – Quality of Service

Ο ορισμός του ATM έχει επιπτώσεις στον τρόπο λειτουργίας ενός δικτύου βασισμένο σ' αυτή την τεχνική μετάδοσης και ειδικότερα στη χρονική και σημασιολογική διαφάνεια του δικτύου.

Η ποιότητα υπηρεσίας, **QoS**, μιας σύνδεσης αναφέρεται σε ένα σύνολο παραμέτρων, οι οποίες έχουν συμφωνηθεί (κατόπιν διαπραγματεύσεως) μεταξύ χρήστη και παρεχόμενης υπηρεσίας. Η QoS μιας σύνδεσης στο δίκτυο ATM σχετίζεται με την ακεραιότητα (integrity) των ATM πακέτων (cells) και με παραμέτρους ροής αυτών, όπως είναι η απώλεια cell, η καθυστέρηση και η αυξομείωση του χρόνου καθυστέρησης των cells (cell delay variation). Επίσης, η QoS είναι άμεσα συνδεδεμένη με το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης BW (bandwidth) σε σύγκριση με το διαθέσιμο BW.

Όταν η σύνδεση ATM είναι κατειλημμένη, τόσο ο χρήστης όσο και ο φορέας που παρέχει την υπηρεσία εγγυώνται ότι, για τη συγκεκριμένη σύνδεση, οι προκαθορισμένες παράμετροι της QoS ισχύουν. Παρόλα αυτά, εφόσον οι υπηρεσίες του ATM ποικίλουν, οι διαφορετικές συνδέσεις θα έχουν και διαφορετικές παραμέτρους ATM. Για παράδειγμα, μια σύνδεση μπορεί να απαιτεί υψηλή προτεραιότητα (high priority) και μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης των ATM πακέτων σε σχέση με αυτό που διατίθεται από τον κόμβο, από ότι μια άλλη με χαμηλή προτεραιότητα και μικρότερο ρυθμό μετάδοσης.

2.5.1 Διαφάνεια χρόνου (Time Transparency)

* Χρονική Διαφάνεια: καθορίζει την ικανότητα του δικτύου να μεταφέρει πληροφορία από τον πομπό στο δέκτη σε μικρό χρονικό διάστημα.

Σφάλματα αναφερόμενα στην ταχύτητα

Η καθυστέρηση των μεταδιδόμενων ATM πακέτων **CTD (Cell Transfer Delay)** ορίζεται ως ο χρόνος που έχει διανυθεί από ένα cell μεταξύ εισόδου και εξόδου.

Η αυξομείωση του χρόνου καθυστέρησης των ATM πακέτων **CDV (Cell Delay Variation)** ορίζεται ως η αυξομείωση της άφιξης των ATM πακέτων για μια συγκεκριμένη σύνδεση.

Λόγω των μεγάλων ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ευρείας ζώνης και του μικρού μήκους του πεδίου πληροφορίας των ATM πακέτων, η καθυστέρηση σε ένα δίκτυο ATM διαφέρει κατά πολύ από την καθυστέρηση στα κλασικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Συνήθως, θεωρούμε αμελητέα την καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay), ενώ λαμβάνουμε υπ' όψη την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) λόγω του μεγάλου μήκους των ζευξίων των δικτύων ATM.

Αφού το θέμα της καθυστέρησης αφορά κυρίως στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και video, θα συγκεντρώσουμε την προσοχή μας στα προβλήματα που πιθανόν να παρουσιαστούν κατά τη μετάδοση των υπηρεσιών αυτών μέσα από ένα ATM δίκτυο. Υπηρεσίες που στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτων (packet oriented υπηρεσίες όπως π.χ. μεταφορά δεδομένων από υπολογιστή) δεν είναι τόσο ευαίσθητες στην καθυστέρηση που προκαλείται μόνο από τη μεταφορά πληροφορίας.

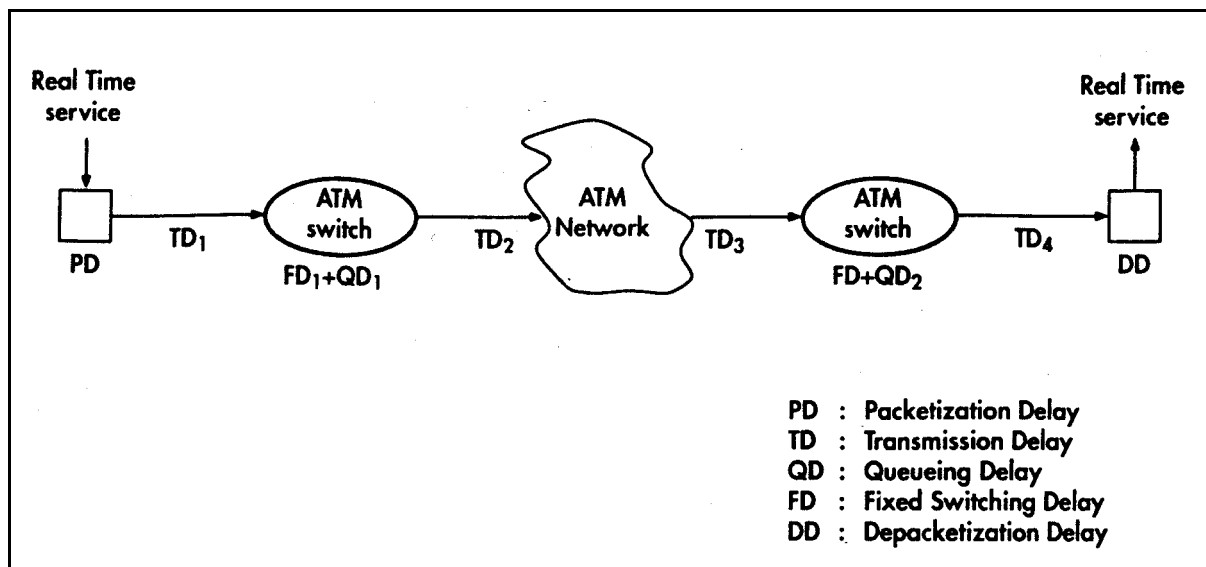
Χαρακτηριστικά της καθυστέρησης της ATM

Η καθυστέρηση σε ένα ATM δίκτυο είναι το αποτέλεσμα της καθυστέρησης που παρουσιάζεται σε κάθε ξεχωριστό κομμάτι του δικτύου. Οι καθυστερήσεις αυτές φαίνονται στο σχ. 2.5.1α για ένα δίκτυο καθαρά ATM και στο σχ. 2.5.1β για ένα συνδυασμό ATM/non-ATM δίκτυο.

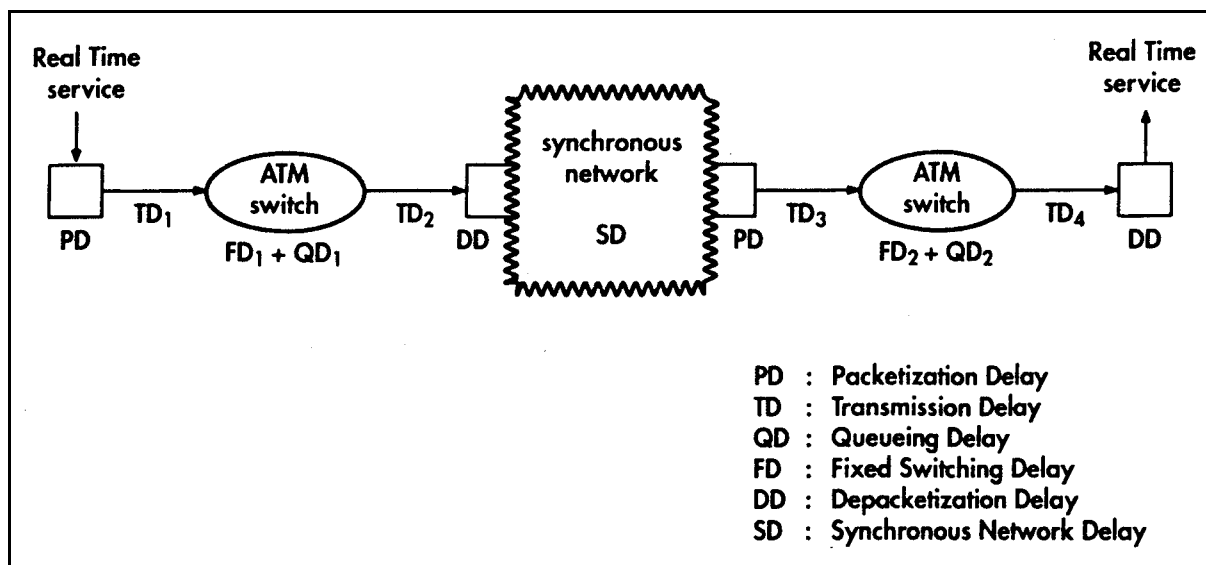
Σε ένα δίκτυο καθαρά ATM (σχ. 2.5.1α) η πληροφορία συγκεντρώνεται σε πακέτα στο τερματικό του αποστολέα και απο-πακετάρεται (αποσυναρμολογείται) στο τερματικό του δέκτη. Εσωτερικά στο δίκτυο γίνεται παντού η χρήση πακέτων.

Σε ένα μεικτό δίκτυο (σχ. 2.5.1β) μερικά κομμάτια λειτουργούν με σύγχρονα δίκτυα (π.χ. N-ISDN). Ένα παράδειγμα είναι μια σύνδεση φωνής μεταξύ ενός χρήστη συνδεδεμένου σε ATM δίκτυο και ενός άλλου που είναι συνδεδεμένος στο κλασικό τηλεφωνικό δίκτυο.

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην ολική καθυστέρηση του δικτύου είναι:



Σχήμα 2.5.1α Η καθυστέρηση σε ένα αμιγές ATM δίκτυο



Σχήμα 2.5.1β Καθυστέρηση σε ένα μεικτό δίκτυο ATM / Μη ATM

(α) Καθυστέρηση Μετάδοσης (TD)

Ουσιαστικά μετρούμε την καθυστέρηση διάδοσης που οφείλεται στην απόσταση μεταξύ των δύο τερματικών (λόγω της υψηλής χωρητικότητας των ζεύξεων δεν υπολογίζουμε άλλη καθυστέρηση στις ζεύξεις). Ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο μετάδοσης, κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5 msec/km. Η καθυστέρηση διάδοσης είναι ανεξάρτητη της τεχνικής μετάδοσης που χρησιμοποιούμε.

(β) Καθυστέρηση Πακεταρίσματος (PD)

Η καθυστέρηση αυτή εισέρχεται κάθε φορά που η υπηρεσία πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και video, μετατρέπονται σε πακέτα (πακετάρισμα). Στα καθαρά ATM δίκτυα η πακετοποίηση απαιτείται μόνο στην πηγή. Στα μεικτά δίκτυα η πακετοποίηση είναι απαραίτητη σε κάθε σημείο μεταξύ των δύο διαφόρων τύπων δικτύων.

(γ) Καθυστέρηση μεταγωγής

Σε ένα ATM κέντρο, η καθυστέρηση μεταγωγής συνίσταται (αποτελείται) από ένα σταθερό όρο ο οποίος ονομάζεται **σταθερή καθυστέρηση μεταγωγής (FD)** και ένα μεταβλητό όρο που οφείλεται στις ουρές των εξόδων των κέντρων και ονομάζεται **καθυστέρηση ουρών (QD)**.

* *Σταθερή καθυστέρηση μεταγωγής (FD)*

Η καθυστέρηση αυτή εξαρτάται από τις αρχικές παραμέτρους εγκατάστασης και οφείλεται στη μεταφορά των πακέτων εσωτερικά στο κέντρο. Είναι η καθυστέρηση που συναντούμε σε ένα διακόπτη όταν μόνο ένα πακέτο περνά μέσα από αυτόν. Λόγω όμως του ότι η μεταγωγή διεκπεραιώνεται με hardware και με πολύ μεγάλες ταχύτητες η σταθερή αυτή καθυστέρηση μπορεί να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα.

* *Καθυστέρηση ουρών (QD)*

Μια και τα συστήματα ATM πολυπλέκουν και μετάγουν στατιστικά ATM πακέτα, είναι απαραίτητη η χρήση ουρών στο δίκτυο για την αποφυγή μεγάλων απωλειών πακέτων. Οι ουρές αυτές εισάγουν μια τυπική για τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων καθυστέρηση. Αυτή η καθυστέρηση μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο του δικτύου, και καθορίζεται από τη συμπεριφορά των ουρών. Αυτή η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από μια **συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Σ.Π.Π.)** του μήκους της ουράς η οποία περιγράφει τη στατιστική συμπεριφορά των ουρών στο δίκτυο. Αντί όμως να χρησιμοποιούμε ολόκληρη την Σ.Π.Π. για να περιγράψουμε αυτή την καθυστέρηση, θα χρησιμοποιήσουμε μόνο μια ποσότητα q . Η ποσότητα αυτή είναι η τιμή της καθυστέρησης η οποία θα ξεπεραστεί με μια πιθανότητα 10^{-9} .

(δ) Καθυστέρηση Ξε-πακεταρίσματος (DD)

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου απαιτούν μια επιπλέον καθυστέρηση είτε στο σημείο προορισμού είτε στα σημεία διασύνδεσης των δύο διαφορετικών δικτύων (σύγχρονου και ασύγχρονου).

Αυτή η καθυστέρηση που απαιτείται θα πρέπει να προστεθεί στα πακέτα για την εξομάλυνση της στοχαστικής καθυστέρησης που εισάγεται από το δίκτυο έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ανακατασκευή του αρχικού bit stream. Η καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος συνεργασίας δικτύου και τερματικού για την απομάκρυνση του jitter από την καθυστέρηση, με αποτέλεσμα η καθυστέρηση όλων των πακέτων στο δίκτυο να είναι η ίδια (σταθερή).

Η καθυστέρηση αυτή, δηλ. του ξε-πακεταρίσματος, σε ένα καθαρά ATM δίκτυο παρουσιάζεται μόνο στο δέκτη. Σ' ένα μικτό δίκτυο (σύγχρονο-ασύγχρονο) παρουσιάζεται σε κάθε σημείο σύνδεσης ασύγχρονου και σύγχρονου δικτύου. Και αυτή η καθυστέρηση θα προσδιοριστεί με τη χρήση μιας ποσότητας q . Αν η καθυστέρηση ενός πακέτου μέσα στο δίκτυο είναι μεγαλύτερη από την καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος τότε το πακέτο θα φτάσει καθυστερημένα στον προορισμό του με αποτέλεσμα να χαθεί. Αυτό όμως μπορεί να συμβεί μόνο σε μια πιθανότητα 10^{-9} , γι' αυτό και στη γενική τιμή της πιθανότητας απώλειας πακέτου από το δίκτυο, θα πρέπει να προστεθεί από το δέκτη άλλη μια ποσότητα πιθανότητας απώλειας πακέτου. Για το λόγο αυτό η τιμή του 10^{-9} θα πρέπει να διατηρείται πολύ μικρή, σχεδόν σαν να μην υπάρχει.

Η καθυστέρηση που έχει αντιμετωπιστεί πιο πάνω, είναι η χειρότερη περίπτωση καθυστέρησης (δηλ. μέγιστη) μέσα από όλες τις ουρές όπως έχει περιγραφεί στην καθυστέρηση ουρών (QD). Για το λόγο αυτό και η καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος, από μόνη της δε θα συμπεριληφθεί στον τύπο της ολικής καθυστέρησης. Και οι δυο καθυστερήσεις μαζί (QD και DD) έχουν σαν αποτέλεσμα μια καθυστέρηση με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας σαν την συνάρτηση Dirac στην ποσότητα q .

Όλες οι πιο πάνω παράμετροι καθυστέρησης μπορούν να συνδυαστούν για να μας δώσουν την από άκρο σε άκρο ολική καθυστέρηση του δικτύου στην περίπτωση που έχουμε καθαρό ATM δίκτυο (D_1) και στην περίπτωση που έχουμε μικτό δίκτυο (D_2). Οι εξισώσεις αυτές αθροίζουν τις μέγιστες τιμές κάθε παραμέτρου. Στους τύπους αυτούς το i συμβολίζει τον αριθμό των links μετάδοσης, το j τον αριθμό των ATM διακοπών, το k τον αριθμό των σημείων όπου γίνεται η μετατροπή της πληροφορίας σε πακέτα και αντίστροφα ανά ζεύγη συμπεριλαμβανομένων και των τερματικών, και l ο αριθμός των σύγχρονων κέντρων από τα οποία περνά η πληροφορία. Το SD_l δίνει την καθυστέρηση ενός σύγχρονου κέντρου.

$$D_1 = \sum_i TD_i + \sum_j FD_j + \max q \int QD_j + PD \quad (1)$$

$$D_2 = \sum_i TD_i + \sum_j FD_j + \sum_k \max q \int QD_j + k * PD + \sum_l SD_l \quad (2)$$

Για παράδειγμα αν είχαμε μια αλυσίδα ATM - STM - ATM - STM - ATM τότε το $k = 3$ (στο παράδειγμα του σχ. 2.5.1β το $k = 2$). Ο δείκτης j_k δείχνει τον αριθμό των ATM διακοπών σε ένα σημείο όπου υπάρχει μετατροπή της πληροφορίας. Το άθροισμα των καθυστερήσεων ουρών δεν είναι μαθηματικό άθροισμα αλλά είναι μια στατιστική συνέλιξη όλων των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας γι' αυτό και ορίζεται με το ολοκλήρωμα. Η τιμή g της συνέλιξης που δείχνεται σαν "maxq" θα χρησιμοποιηθεί ως η προσμετρούμενη (encountered) καθυστέρηση μια και ο "depacketizer" θα μας εξασφαλίζει αυτή τη μέγιστη καθυστέρηση για όλα τα πακέτα.

Τιμές σε ATM δίκτυα

Στο παράδειγμα που θα εξετάσουμε στη συνέχεια θεωρούμε μια απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη 1000km η οποία επιφέρει μια καθυστέρηση 4000μsec. Θεωρούμε επίσης δύο σύγχρονους διακόπτες που ο κάθε ένας επιφέρει μια καθυστέρηση 450μsec (η μέση επιτρεπόμενη τιμή από την ITU-T). Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά μιας ασύγχρονης μετάδοσης, θεωρούμε 3 διαφορετικά μήκη πεδίων πληροφορίας (16, 32 και 64 bytes) και 2 ρυθμούς μεταγωγής και μετάδοσης (150 και 600 Mbit/s). Επίσης θεωρούμε και 8 συνολικά ATM κέντρα.

Η **καθυστέρηση μετάδοσης (TD)** ορίζεται από την απόσταση και είναι ανεξάρτητη από τον παράγοντα ATM. Το ίδιο ισχύει και με το SD_i , την καθυστέρηση μεταγωγής των σύγχρονων διακοπών (όχι-ATM διακόπτες).

Καθυστέρηση Πακεταρίσματος (PD)

Η καθυστέρηση αυτή εξαρτάται από το μήκος του πακέτου και από το ρυθμό με τον οποίο η πηγή παράγει bits. Μια τυπική τιμή για το μήκος του πακέτου πληροφορίας κυμαίνεται μεταξύ 16 και 64 bytes. Για τον περιορισμό της καθυστέρησης αυτής το μήκος του πακέτου δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο. Δεν πρέπει όμως να είναι ούτε και πολύ μικρό γιατί θα έχουμε χαμηλή αποδοτικότητα στη μετάδοση που θα οφείλεται σε μια μεγάλη επιβάρυνση από την επικεφαλίδα. Αν το πεδίο πληροφορίας είναι πλήρες τότε για τα 64 kbit/s της φωνής συνεπάγονται 2msec (για 16bytes) έως 8msec (για 64bytes) καθυστέρηση πακεταρίσματος. Για πραγματικού χρόνου υπηρεσίες μεγάλης ταχύτητας (2 Mbit/s και πάνω) η καθυστέρηση αυτή γίνεται πολύ μικρή (125μs και μικρότερη).

Σταθερή καθυστέρηση μεταγωγής (FD)

Η καθυστέρηση αυτή εξαρτάται από την εγκατάσταση αλλά είναι διατεταγμένη κατά δεκάδες πακέτων ανά κέντρο.

Για πακέτα μικρού μήκους (16 - 64 bytes) και υψηλής ταχύτητας links (150 - 600 Mbit/s), η τιμή της σταθερής καθυστέρησης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 32 μsec ανά κέντρο, ή διαφορετικά μεταξύ 16 και 256 μsec για 8 διαδοχικά κέντρα (Πίνακας 2.5.1).

Πίνακας 2.5.1 Καθυστερήσεις (σε μsec) για διαφορετικές ταχύτητες και μεγέθη πακέτων για 8 διαδοχικά κέντρα ATM.

Speed	150 Mbit/s			600 Mbit/s		
Packet Size (Bytes)	16	32	64	16	32	64
TD	4000	4000	4000	4000	4000	4000
FD	64	128	256	16	32	64
QD/DD	200	400	800	50	100	200
PD	2000	4000	8000	200	4000	8000
SD	900	900	900	900	900	900
D1	6264	8528	12256	6166	8132	12364
D2	9365	13828	21956	9016	13132	21364

Φορτίο link : 80%

Ρυθμός απώλειας πακέτων : 10^{-10}

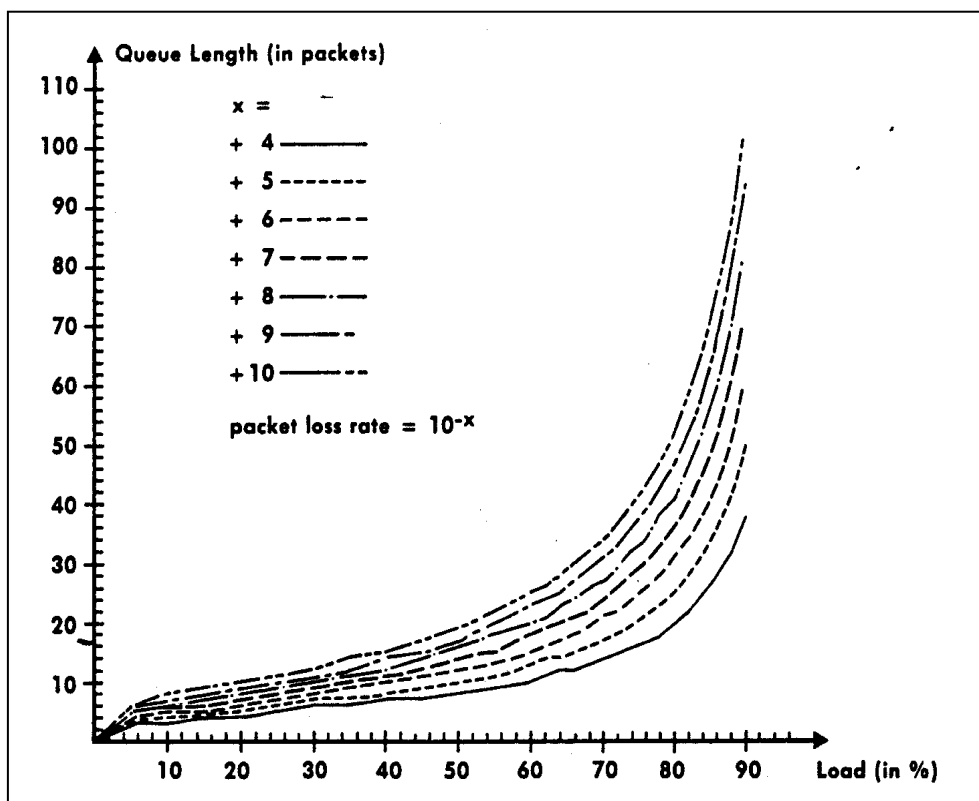
Καθυστερήση ουρών (QD)

Η καθυστέρηση ουρών εξαρτάται κατά πολύ από το φορτίο των links μέσα στο δίκτυο και στην επιτρεπόμενη πιθανότητα απώλειας πακέτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.5.1γ.

Στο σχήμα αυτό (2.5.1γ) βλέπουμε ότι για φορτίο γύρω στο 80% το μήκος των ουρών και η αντίστοιχη καθυστέρηση αρχίζουν να αυξάνονται εκθετικά. Για το λόγο αυτό οι επιτρεπόμενες τιμές φορτίου για ATM δίκτυα φτάνουν μέχρι το 80% της χωρητικότητας του δικτύου. Το μέγεθος των ουρών που προκαλούν αυτήν την καθυστέρηση εξαρτάται από τον τρόπο υλοποίησης (implementation) των ATM διακοπών.

Οι περισσότερες αρχιτεκτονικές μεταγωγής που έχουν προταθεί χρειάζονται μερικές δεκάδες πακέτων ανά ουρά ή και λιγότερα. Μόνο μια τέτοια ουρά είναι αρκετή για μικρές αρχιτεκτονικές μεταγωγής (π.χ. 16 by 16). Για μεγαλύτερες εφαρμογές (μερικών χιλιάδων εισόδων και εξόδων) πρέπει να υπολογιστεί μια συνέλιξη (να γίνει ένας υπολογισμός της συνέλιξης) των διαδοχικών

καθυστερήσεων ουρών, και πάλι όμως θα εξαρτάται από την αρχιτεκτονική που έχει επιλεγεί. Μια ικανοποιητική τιμή της καθυστέρησης αυτής για 80% φορτίο, (πιθανότητας απωλειών πακέτων 10^{-10}), και για 50 διαδοχικές ουρές (π.χ. στα 7 κέντρα από 6 και στο ένα 8 διαδοχικές ουρές) μπορεί να θεωρηθεί γύρω στα 235 πακέτα. Για πακέτα μήκους 1 με 64 bytes και ταχύτητα επεξεργασίας στις ουρές 150 με 600 Mbit/s η καθυστέρηση των 235 πακέτων μεταφράζεται σε χρονική καθυστέρηση που κυμαίνεται μεταξύ 50 και 800μsec (Πίνακας 2.5.1).



Σχήμα 2.5.1γ Μέγεθος ουρών σε συνάρτηση του φορτίου σε ένα μοντέλο M/D/1

Καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος (DD)

Η καθυστέρηση αυτή πρέπει να απαλείψει την καθυστέρηση jitter με την προσθήκη καθυστέρησης στο δέκτη. Η επιπρόσθετη αυτή καθυστέρηση ορίζεται από τη συνέλιξη των καθυστερήσεων στις ουρές. Αν δεχτούμε τις ίδιες προϋποθέσεις που δεχτήκαμε και για τον υπολογισμό της καθυστέρησης ουρών προηγουμένως, τότε η συνολική καθυστέρηση jitter που πρέπει να απομακρυνθεί είναι μεταξύ 50 και 800μsec, ανάλογα με την ταχύτητα και το μήκος του πακέτου. Η καθυστέρηση όμως αυτή, ως καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος (DD) δε φαίνεται καθόλου στους τύπους 1 και 2 διότι έχουμε θεωρήσει τη μέγιστη τιμή για την καθυστέρηση ουρών οπότε η καθυστέρηση jitter έχει ήδη υπολογιστεί στην τιμή αυτή.

Παρατηρήσεις σχετικά με την καθυστέρηση

Στον πίνακα 2.5.1 υπολογίζονται οι συνολικές καθυστερήσεις (D_1 και D_2) για το παράδειγμα που ορίσαμε πιο πάνω (8 ATM κέντρα, 2 σύγχρονα κέντρα) και γίνεται μια απλή σύγκριση μεταξύ ATM και μικτών δικτύων (π.χ. $k = 2$). Από τη σύγκριση αυτή φαίνεται ότι η καθυστέρηση αυξάνει στα μικτά δίκτυα και ιδιαίτερα για πακέτα μεγάλου μήκους. Να σημειωθεί ότι η τιμή του QD/DD για το D_2 θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή που δείχνει ο πίνακας, αφού το άθροισμα δύο ξεχωριστών συνελίξεων των 25 ουρών είναι μεγαλύτερο από την συνέλιξη 50 ουρών μαζί. Παρόλα αυτά η διαφορά είναι μερικά msec γι' αυτό και παραλείπεται.

Για τη διατήρηση της καθυστέρησης σε χαμηλά επίπεδα ούτως ώστε να αποφύγουμε το πρόβλημα της ηχούς στη φωνή, τα πακέτα δεν πρέπει να έχουν μεγάλο μήκος. Στον πίνακα 2.5.1 βλέπουμε ότι όλα τα παραδείγματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές της ITU-T για μια συνολική καθυστέρηση μικρότερη των 24 msec. Παρατηρούμε όμως ότι για πακέτα με μήκος μεγαλύτερο των 65 bytes ή για αποστάσεις πέραν των 1000 km θα χρειαστεί η εγκατάσταση ακυρωτών ηχούς που είναι απαραίτητοι όταν η συνολική καθυστέρηση ξεπερνά τα 24 msec. Επιπλέον η καθυστέρηση ξε-πακεταρίσματος (και κατά συνέπεια οι σχετικοί buffers) στο δέκτη θα είναι μεγάλη με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους των τερματικών. Έτσι καταλήγουμε ξανά στη χρησιμοποίηση πακέτων μικρού μήκους.

2.5.2 Σημασιολογική Διαφάνεια (Semantic transparency)

- * Σημασιολογική Διαφάνεια: καθορίζει την πιθανότητα με την οποία το δίκτυο μπορεί να μεταφέρει μια πληροφορία χωρίς λάθη, δηλ. αν για μια end-to-end σύνδεση έχουμε ένα πολύ μικρό αριθμό λαθών τότε σημαίνει αποδοχή για την υπηρεσία.

Σφάλματα αναφερόμενα στη μετάδοση

α) Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων bit - Bit Error Rate

Ο BER έχει οριστεί ως ο αριθμός των bit που φτάνουν λανθασμένα προς τον αριθμό των bit που έχουν εκπεμφθεί, μετρημένα σε μια **αντιπροσωπευτική χρονική περίοδο**, ή:

$$\text{BER} = \frac{\text{Αριθμός των λανθασμένων bits}}{\text{Συνολικός αριθμός των bits που εστάλησαν}}$$

Ο ορισμός ενός λανθασμένου bit είναι πολύ απλός, δηλ. όταν ένα bit φτάνει στο δέκτη με αλλαγμένη τη αρχική του τιμή.

Τα σφάλματα αυτά μπορεί να συμβούν είτε μεμονωμένα (απλά σφάλματα) είτε σε ομάδες (κρουστικά σφάλματα). Τα μεμονωμένα σφάλματα οφείλονται κατά κύριο λόγο στο θόρυβο και στις ατέλειες του συστήματος. Τα κρουστικά σφάλματα που δεν προκαλούνται από σφάλματα πακέτων, οφείλονται κυρίως σε χειρονακτικούς χειρισμούς και σε κρουστικό θόρυβο.

Σημαντική είναι η πρόταση "σε μια αντιπροσωπευτική χρονική περίοδο". Πραγματικά, εάν θέλουμε να μετρήσουμε ένα BER της τάξης του 10^{-4} για παράδειγμα, θα πρέπει να μετρήσουμε τουλάχιστον 10000 bits. Αν όμως θέλουμε οι μετρήσεις μας να είναι πιο αξιόπιστες τότε θα πρέπει οι μετρήσεις μας να γίνουν πάνω σε ένα δείγμα 2 ή 3 τάξεων μεγέθους μεγαλύτερο. Για το προηγούμενο παράδειγμα αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις μας θα γίνουν σε ένα δείγμα τουλάχιστον 1 με 10 εκατομμύρια bits. Αυτό συμβαίνει διότι τα σφάλματα συμβαίνουν τυχαία.

β) Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων πακέτου - **Packet Error Rate**

Ο **PER** ορίζεται ως ο αριθμός των λανθασμένων πακέτων προς το συνολικό αριθμό των πακέτων που έχουν μεταδοθεί σε μία αντιπροσωπευτική χρονική περίοδο.

$$PER = \frac{\text{Αριθμός των λανθασμένων πακέτων}}{\text{Συνολικός αριθμός των πακέτων που εστάλησαν}}$$

Σφάλματα αναφερόμενα στην ακρίβεια

Ο ρυθμός των κακώς-εισερχόμενων cells **CMR (Cell Mis-insertion Rate)** ορίζεται ως ο αριθμός των κακώς-εισερχόμενων cells σε ένα χρονικό διάστημα.

Ο λόγος λανθασμένων cells **CER (Cell Error Ratio)** ορίζεται ως ο αριθμός των λανθασμένων cells προς το συνολικό αριθμό που εστάλησαν.

Σφάλματα αναφερόμενα στην αξιοπιστία

Ο ρυθμός των χαμένων cells **CLR (Cell Loss Rate)** ορίζεται ως ο αριθμός των χαμένων cells (ATM πακέτων) προς το συνολικό αριθμό που εστάλησαν.

Όπως σε κάθε σύστημα πακέτων έτσι και στα ATM δίκτυα τα λάθη που αντιμετωπίζονται οφείλονται στα μέσα μετάδοσης και στα συστήματα μεταγωγής και πολυπλεξίας. Λόγω όμως των ιδιοτήτων του ATM (δεν έχουμε έλεγχο ροής και λαθών) η συμπεριφορά των λαθών είναι διαφορετική από αυτή των κλασσικών συστημάτων μεταγωγής πακέτων.

Ο συνολικός ρυθμός λανθασμένων bits (Bit Error Rate - BER) ενός ATM συστήματος εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- * Την απώλεια και τη λάθος άφιξη των bit του πεδίου πληροφορίας λόγω λαθών στη μετάδοση.
- * Την απώλεια πακέτων στα συστήματα μεταγωγής/πολύπλεξης λόγω υπερχειλίσισης των ουρών.
- * Την απώλεια και τη λάθος άφιξη των πακέτων που προκαλείται από τη λάθος δρομολόγηση, λόγω εσφαλμένης μετάφρασης της επικεφαλίδας στα συστήματα μεταγωγής.

Η λάθος άφιξη των bits του πεδίου πληροφορίας που οφείλεται στα λάθη κατά τη μετάδοση δεν εξαρτάται από τη χρήση ATM συστημάτων γι' αυτό και δε θα την εξετάσουμε εδώ. Αντίθετα, οι δύο άλλοι παράγοντες που επηρεάζονται από την αρχή της λειτουργίας του ATM θα μελετηθούν λεπτομερώς στη συνέχεια.

Απώλεια πακέτων που οφείλεται στα λάθη της επικεφαλίδας

Αν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης ενός πακέτου από ένα ATM δίκτυο γίνει αλλαγή ενός bit στο πεδίο πληροφορίας τότε το πακέτο θα φτάσει στον προορισμό του με το λανθασμένο bit αφού δεν παρέχεται link - by - link έλεγχος λαθών. Αν όμως αλλάξει ένα bit στην επικεφαλίδα, τότε θα προκύψει λάθος στη μετάφραση της επικεφαλίδας από τους εξοπλισμούς μεταγωγής/πολύπλεξης με αποτέλεσμα τη λάθος δρομολόγηση του πακέτου. Όταν η αλλαγή που θα γίνει στην επικεφαλίδα έχει ως αποτέλεσμα να προκύψει μια νέα επικεφαλίδα με την τιμή μιας άλλης σύνδεσης, τότε θα δημιουργηθεί ένα διπλό λάθος. Ένα στο τερματικό προορισμού λόγω απώλειας πακέτου και ένα στο τερματικό στο οποίο αναφέρεται η νέα επικεφαλίδα λόγω της λήψης ενός πακέτου που δεν το αφορά. Αν όμως η τιμή της επικεφαλίδας που θα προκύψει δεν ταυτίζεται με καμιά σύνδεση τότε το πακέτο θα απορριφθεί και έτσι μόνο στο τερματικό προορισμού θα δημιουργηθεί λάθος. Και στις δύο όμως περιπτώσεις θα μας προκύψει μια αλυσίδα λαθών στα εμπλεκόμενα τερματικά.

Ας υποθέσουμε ότι το σύστημα μετάδοσης έχει ένα BER ίσο με B. Ο ρυθμός αυτός μπορεί να είναι είτε ομοιόμορφα κατανεμημένος σε όλα τα bits (δεν έχουμε διαδοχικά λάθη), είτε ομαδοποιημένος με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαδοχικών λαθών, διάρκειας μεγαλύτερης του ενός πακέτου.

- * Στην περίπτωση που έχουμε διαδοχικά λάθη μεγάλης διάρκειας τότε, η payload πληροφορία στο πακέτο είναι λάθος έτσι κι αλλιώς, οπότε και λάθος να υπήρχε στην επικεφαλίδα με αποτέλεσμα την απώλεια του δε θα είχε καμία συνέπεια.

- * Στην περίπτωση που έχουμε απλά λάθη του ενός bit, τότε αν το λάθος αυτό είναι στην επικεφαλίδα θα προκληθεί λάθος στη μετάφραση του από τα συστήματα μεταγωγής/πολύπλεξης με αποτέλεσμα την απώλεια ολόκληρου του πακέτου. Όλη αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα μια πολύπλοκη επίδραση που μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως.

Θεωρούμε ένα πακέτο το οποίο αποτελείται από h bits στην επικεφαλίδα και i bits στο πεδίο πληροφορίας. Θεωρούμε επίσης, για απλοποίηση των πράξεων, ότι όλα τα πακέτα έχουν το ίδιο μήκος ή ότι το μέσο μήκος όλων των πακέτων είναι H όπου $H = h + i$. Επιπλέον δεχόμαστε ότι οι ATM κόμβοι μεταγωγής ερμηνεύουν όλα τα bits της επικεφαλίδας και τα χρησιμοποιούν για να ορίσουν τον προορισμό του πακέτου. Το σύστημα μετάδοσης δεν μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ επικεφαλίδας και πληροφορίας γι' αυτό και τα λάθη κατανέμονται ομοιόμορφα και στα H bits του πακέτου. Αυτό μας οδηγεί στην ακόλουθη παρατήρηση.

- * Η πιθανότητα να έχουμε ένα λάθος στην επικεφαλίδα είναι:

$$\frac{h}{h+i} B$$

- * Η πιθανότητα να έχουμε ένα λάθος στο πεδίο πληροφορίας είναι:

$$\frac{i}{h+i} B$$

Παίρνουμε ένα απλό μοντέλο, για να υπολογίσουμε την πολυπλοκότητα του φαινομένου που προκύπτει από ένα λάθος στην επικεφαλίδα, το οποίο αποτελείται από ένα απλό κόμβο μεταγωγής ATM ο οποίος δέχεται bits από ένα σύστημα μετάδοσης με ένα ρυθμό λαθών B χωρίς να εισάγει επιπλέον λάθη στο πεδίο πληροφορίας. Ο συνολικός ρυθμός λαθών μπορεί να υπολογιστεί ως το άθροισμα του ρυθμού λαθών του συστήματος μετάδοσης στο πεδίο πληροφορίας και του ρυθμού λαθών που προκαλείται λόγω λανθασμένης δρομολόγησης των πακέτων. Αν ο κόμβος μεταγωγής μεταφράσει την επικεφαλίδα τότε έχουμε τρεις πιθανές περιπτώσεις:

- (1) Το λάθος (λάθη) στην επικεφαλίδα ούτε ανιχνεύεται(-ονται), ούτε διορθώνεται(-ονται). Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε λάθος επιλογή δρομολόγησης. Αν υποθέσουμε τη χειρότερη περίπτωση, όπου το πακέτο κατευθύνεται σε λάθος προορισμό (δηλ. δεν καταστρέφεται στον κόμβο), τότε i bits θα φτάσουν στο λανθασμένο προορισμό και την ίδια στιγμή i bits θα χαθούν από τον τελικό προορισμό. Ουσιαστικά έχουμε 2^i λανθασμένα bits. Αυτό θα συντελέσει σε ένα γενικό ρυθμό λαθών B_1 :

$$B_1 = \frac{h}{h+i} B * 2i + \frac{i}{h+i} B = \frac{i(2h+1)}{h+i} B \quad (3\alpha)$$

Η επίδραση του φαινομένου στον ρυθμό λαθών είναι $M_1 = B_1/B$ ή

$$M_1 = \frac{2h+1}{1+h/i} \quad (4\alpha)$$

- (2) Το λάθος στην επικεφαλίδα ανιχνεύεται αλλά δε διορθώνεται. Σ' αυτή την περίπτωση τα i bits δε θα φτάσουν στον αρχικό τους προορισμό. Αυτό θα συντελέσει σε ένα ρυθμό λαθών B_2 :

$$B_2 = \frac{h}{h+i} B * i + \frac{i}{h+i} B = \frac{i(h+1)}{h+i} B \quad (3\beta)$$

Η νέα επίδραση του φαινομένου στο ρυθμό λαθών είναι M_2

$$M_2 = \frac{h+1}{1+h/i} \quad (4\beta)$$

- (3) Το λάθος (λάθη) στην επικεφαλίδα ανιχνεύεται(-ονται) και διορθώνεται(-ονται). Τώρα όλα τα bits πληροφορίας του πακέτου θα φτάσουν στο σωστό προορισμό και ο νέος ρυθμός λαθών είναι B_3 ,

$$B_3 = \frac{h}{h+i} B * 0 + \frac{i}{h+i} B = \frac{i}{h+i} B \quad (3\gamma)$$

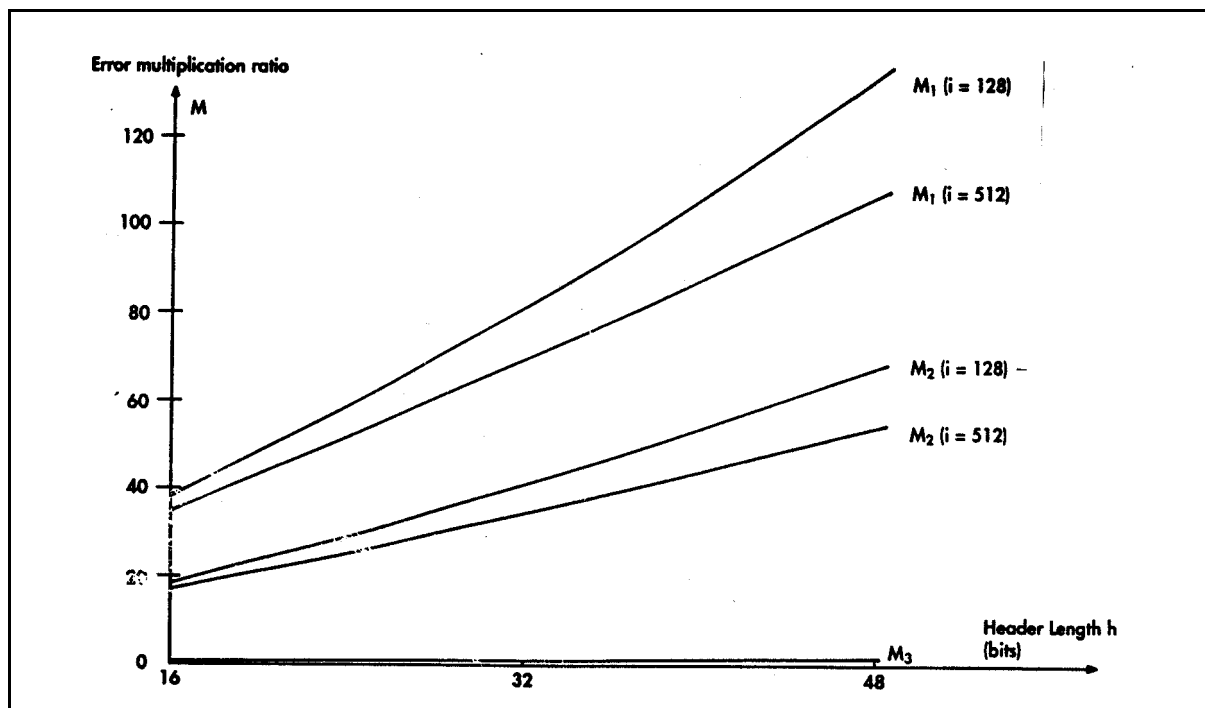
Η επίδραση του φαινομένου στο ρυθμό λαθών είναι M_3

$$M_3 = \frac{1}{1+h/i} \quad (4\gamma)$$

που είναι μικρότερη της μονάδας, οπότε δεν έχουμε καμία επίδραση.

Τα αποτελέσματα των τριών αυτών περιπτώσεων φαίνονται στο σχ. 2.5.2α για διαφορετικά μήκη επικεφαλίδας και πεδίου πληροφορίας. Βλέπουμε καθαρά ότι όσο μεγαλώνει το μήκος της επικεφαλίδας τα πράγματα γίνονται χειρότερα για ένα σταθερό μήκος πεδίου πληροφορίας, εφόσον αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης λάθους σ' αυτόν. Παρατηρούμε επίσης ότι η παράμετρος M που μας δείχνει την πολύπλοκη επίδραση που έχει η εμφάνιση λάθους στην επικεφαλίδα στον ρυθμό λαθών, φτάνει την τιμή 100 και την ξεπερνάει στην περίπτωση που δεν έχουμε τη δυνατότητα

ανίχνευσης/διόρθωσης λαθών. Στην περίπτωση που έχουμε μόνο ανίχνευση λαθών, η παράμετρος αυτή φτάνει μέχρι την τιμή 50.



Σχήμα 2.5.2a Πολυπλοκότητα σφαλμάτων που προκύπτει από σφάλματα στην επικεφαλίδα για τρεις διαφορετικές τεχνικές προστασίας (M_1 : Καμία προστασία, M_2 : Ανίχνευση σφαλμάτων, M_3 : Διόρθωση σφαλμάτων)

Στην τρίτη περίπτωση υποθέσαμε πλήρη διόρθωση οπότε όλα τα λάθη στην επικεφαλίδα διορθώνονται όσο πολύπλοκα κι αν είναι. Τέτοιος όμως έλεγχος, ο οποίος χρησιμοποιεί **FEC** κώδικα (**Forward Error Correction**) καταλήγει σε μεγάλη επιβάρυνση, που σημαίνει επιπλέον bits, και είναι δύσκολος στην εφαρμογή, γι' αυτό και γίνεται μια πιο απλή προσέγγιση του θέματος.

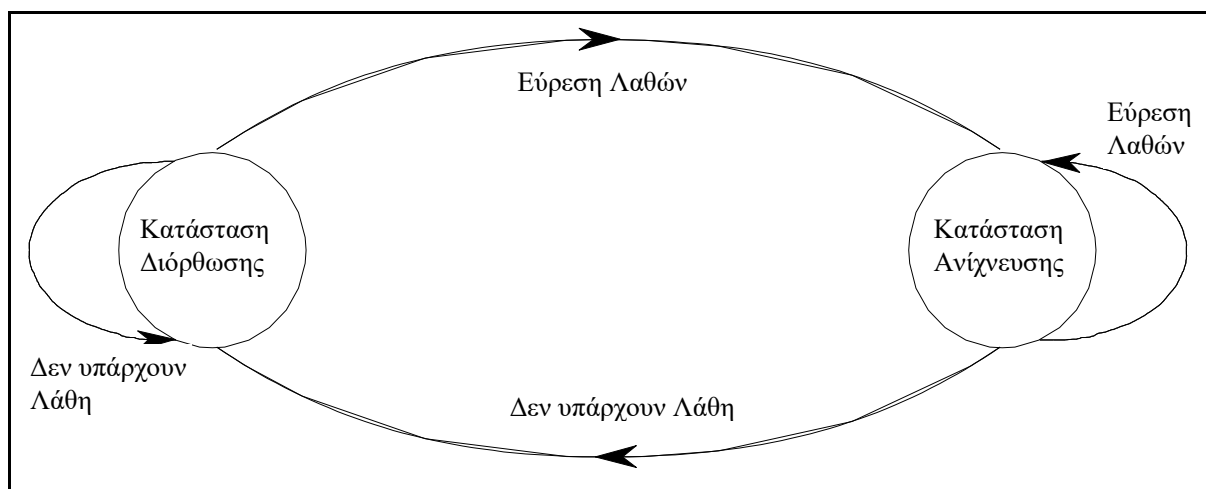
Στην απλοποιημένη αυτή προσέγγιση χρησιμοποιούνται περιορισμένες δυνατότητες διόρθωσης. Τα περισσότερα λάθη στη μετάδοση είναι είτε απλά λάθη του ενός bit, είτε κρουστικά (πολλαπλά - burst errors). Τα απλά λάθη μπορούν εύκολα να διορθωθούν χρησιμοποιώντας κυκλικούς κώδικες όπως, για παράδειγμα ο BCH. Τα κρουστικά λάθη διορθώνονται πιο δύσκολα, και χρειάζονται μεγαλύτερη επιβάρυνση σε bits για να αντιμετωπιστούν. Τέτοιου είδους λάθη εκτός από μεταβολές στην επικεφαλίδα επιφέρουν ταυτόχρονα (όχι όμως πάντα) και μεταβολές στο πεδίο πληροφορίας οπότε η οποιαδήποτε διόρθωση της επικεφαλίδας θα είναι ανώφελη. Για το λόγο λοιπόν αυτό η επιλογή της διόρθωσης μόνο των απλών λαθών μας λύνει κατά ένα βαθμό το πρόβλημα. Να σημειωθεί ότι ο τρόπος

αυτός ανίχνευσης δε δουλεύει με τα κρουστικά λάθη, έτσι αν ένα πακέτο με κρουστικό λάθος στην επικεφαλίδα περάσει από τον κόμβο θα υποστεί λανθασμένη διόρθωση με αποτέλεσμα τη λάθος δρομολόγηση του. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος μας έχει αντίθετα αποτελέσματα αφού τα προβλήματα αυξάνονται (περίπτωση του M₁).

Για την αντιμετώπιση της κατάστασης αυτής χρησιμοποιούμε τον μηχανισμό του σχ. 2.5.2β. Στην κανονική του μορφή, ο μηχανισμός αυτός βρίσκεται στην κατάσταση διόρθωσης, και έχει τη δυνατότητα να διορθώνει λάθη τους ενός bit (single bit errors). Όταν γίνει διόρθωση ενός λάθους, τότε ο μηχανισμός μεταβαίνει στην κατάσταση ανίχνευσης. Αυτή η εναλλαγή μας εξασφαλίζει ότι στην περίπτωση κρουστικών λαθών μόνο το πρώτο πακέτο θα δρομολογηθεί λανθασμένα (αφού η διόρθωση που του έγινε δεν ήταν σωστή) ενώ τα επόμενα πακέτα με λάθη στην επικεφαλίδα θα απορροφηθούν από το μηχανισμό ανίχνευσης. Ο μηχανισμός ανίχνευσης απορρίπτει μόνο πακέτα με λάθη στην επικεφαλίδα.

Στην περίπτωση που έχουμε επικεφαλίδα με ένα λανθασμένο bit, το λάθος θα διορθωθεί, και αφού στο υπόλοιπο πακέτο δεν θα υπάρχει λάθος δεν τίθεται ούτε θέμα λανθασμένης δρομολόγησης. Όταν ο μηχανισμός δεν ανιχνεύει πια λάθη τότε μεταβαίνει ξανά στην κατάσταση διόρθωσης. Όπως παρατηρούμε ο μηχανισμός αυτός είναι κατάλληλος και για τις δύο περιπτώσεις λαθών και μάλιστα πολύ απλός στην εφαρμογή του.

Συχνά τα συστήματα μετάδοσης χρησιμοποιούν τεχνικές κωδικοποίησης γραμμής (π.χ. Manchester HDB3, 5B/6B,...) για να επιτρέπουν ευκολότερη ανάκτηση του συγχρονισμού των bits στο δέκτη και την καλύτερη κατανομή της ενέργειας του σήματος σε όλο το διαθέσιμο φάσμα συχνότητας. Ωστόσο μερικές από αυτές τις τεχνικές κωδικοποίησης μπορεί να έλθουν σε σύγκρουση με αυτό το σχήμα διόρθωσης/ανίχνευσης.



Σχήμα 2.5.2β Προσαρμοζόμενος αλγόριθμος ανίχνευσης/διόρθωσης σφαλμάτων της επικεφαλίδας

Όντως, η κωδικοποίηση γραμμής (όπως π.χ. η 5B/6B) και η αυτόνομη ανάμιξη (scrambling) επιφέρουν μια πολυπλοκότητα στα λάθη των bits, σε αντίθεση με μια ρυθμιζόμενη ανάμιξη (μετατροπή - reset scrambler) που δεν επιφέρει καμιά αλλαγή. Αυτό σημαίνει ότι ένα απλό λάθος του ενός bit στο σύστημα μετάδοσης μπορεί να προκαλέσει άλλα, πολλαπλά λάθη μετά την αντίστροφη λειτουργία της κωδικοποίησης γραμμής. Αυτή είναι άλλη μια περίπτωση πολυπλοκότητας λαθών, στην οποία ο εντοπισμός του λανθασμένου bit εξαρτάται από τον τύπο κωδικοποίησης. Στις τεχνικές κωδικοποίησης γραμμής, το λανθασμένο bit πάντα εντοπίζεται στην ίδια κωδική λέξη (π.χ. 6 bits στην τεχνική 5B/6B). Σε ένα αυτόνομο περιπλέκτη δεδομένων (μείκτη - scrambler), το λάθος εμφανίζεται στη θέση που ορίζεται από τα επίπεδα του περιπλέκτη δεδομένων (scrambler). Έτσι, αν χρησιμοποιείται μετατροπέας με περισσότερα επίπεδα απ' ό,τι το μήκος της επικεφαλίδας, το λάθος θα εμφανιστεί στο πεδίο πληροφορίας. Στην περίπτωση αυτή δεν προκύπτει κανένα πρόβλημα αν λάθη του ενός bit μπορούν να διορθωθούν όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Στην περίπτωση που ο αριθμός των επιπέδων του μετατροπέα είναι μικρότερος από τα bits της επικεφαλίδας, τότε ο αλγόριθμος που περιγράψαμε προηγουμένως δεν ισχύει.

Για το λόγο αυτό, όταν καθοριστεί η τεχνική κωδικοποίησης γραμμής ενός ATM συστήματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα που έχει η επικεφαλίδα για ανίχνευση/διόρθωση λαθών για να αποφύγουμε το μπέρδεμα όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Οι τεχνικές κωδικοποίησης γραμμής που μπορούν να εφαρμοστούν στο μηχανισμό του σχ. 2.5.2β είναι για παράδειγμα η ρυθμιζόμενη και αυτόνομη μετατροπή με περισσότερα επίπεδα απ' όσο το μήκος της επικεφαλίδας σε bit.

Απώλεια πακέτων λόγω υπεργείλισης των αποθηκευτικών πόρων (queue overflow)

Επιλέγοντας κατάλληλα τις διαστάσεις των ουρών του δικτύου μπορούμε να μειώσουμε τις απώλειες πακέτων σε μια τιμή αποδεκτή από υπηρεσίες end-to-end. Στον πίνακα 2.5.2 βλέπουμε τις τιμές αυτές για μερικές υπηρεσίες. Ο πίνακας αυτός δείχνει την επιτρεπτή καθυστέρηση, τον επιτρεπτό ρυθμό bit error (BER), τον επιτρεπτό **ρυθμό απώλειας πακέτων (PLR)** και τον **επιτρεπτό ρυθμό παρεμβολής πακέτων (PIR)** για μερικές υπηρεσίες σε ένα ATM δίκτυο όπως καθορίστηκαν από την κοινοπραξία **RACE (Research on Advanced Communication in Europe)** 1022 (τεχνολογία για το ATM).

Παρεμβάλλονται οι κάτωθι ορισμοί για την κατανόηση του πίνακα.

Ορισμοί:

Ο ορισμός μιας λανθασμένης μονάδας δεδομένων είναι πιο πολύπλοκος. Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλοί τύποι λανθασμένων πακέτων:

1. Πακέτα τα οποία χάνονται μέσα στο δίκτυο προκαλούν λανθασμένη δρομολόγηση ή συμφόρηση. Τότε μπορούμε να ορίσουμε τον PLR (Packet Loss Rate) ως:

$$PLR = \frac{\text{Αριθμός των πακέτων που έχασαν}}{\text{Συνολικός αριθμός των πακέτων που εστάλησαν}}$$

2. Πακέτα τα οποία φτάνουν σε κάποιο δέκτη τον οποίο δεν αφορούν αλλά ο δέκτης αυτός τα αποδέχεται ως ορθά. Τότε μπορούμε να ορίσουμε τον PIR (Packet Insertion Rate) ως:

$$PIR = \frac{\text{Αριθμός των πακέτων που εισαχθήκανε}}{\text{Συνολικός αριθμός των πακέτων που εστάλησαν}}$$

Η φύση των σφαλμάτων και των ρυθμών αυτών μπορεί να διαφέρει από σύστημα σε σύστημα και εξαρτάται από συγκεκριμένους παράγοντες.

Πίνακας 2.5.2 Ιδιότητες υπηρεσιών για ένα δίκτυο ATM

Υπηρεσία	BER	PLR	PIR	Καθυστέρηση
Τηλεφωνία	10^{-7}	10^{-3}	10^{-3}	25ms/500ms
Μετάδοση Δεδομένων	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}	1000ms (50ms)
Broadcast video	10^{-6}	10^{-8}	10^{-8}	1000ms
Ήχος HiFi	10^{-5}	10^{-7}	10^{-7}	1000ms
Απομακρυσμένος Έλεγχος Επεξεργασίας	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	1000ms

Παρατηρούμε ότι οι υπηρεσίες με τις αυστηρότερες απαιτήσεις έχουν μια τιμή PLR γύρω στο 10^{-8} . Αν λοιπόν επιλέξουμε τέτοιες διαστάσεις για τις ουρές των διακοπών/πολυπλεκτών ώστε να ικανοποιείται αυτός ο ρυθμός απώλειας πακέτων τότε δε θα έχουμε καμιά μείωση στην ποιότητα οποιασδήποτε υπηρεσίας. Να σημειωθεί ότι για τη μετάδοση δεδομένων αναφέρονται δύο τιμές. Τα 50 msec είναι σε περίπτωση που έχουμε καταναμημένο υπολογισμό, οπότε θα πρέπει να θεωρείται μια μικρότερη καθυστέρηση.

Πίνακας 2.5.3 Υπηρεσίες και Απαιτήσεις

Εφαρμογές	Καθυστέρηση (ms)	Jitter (ms)
64 Kbps video-διάσκεψη	300	130
1.5 Mbps MPEG, NTSC	5	6.5
20 Mbps	0.8	1
160 Kbps	30	130
256 Kbps	7	9.1

Ένα ATM πακέτο (cell) με λανθασμένη επικεφαλίδα (header) απορρίπτεται. Αυτό όμως μπορεί επίσης να συμβεί και στα καλά ATM πακέτα όταν υπάρχει συμφόρηση στον κόμβο. Συνεπώς, είναι λογικό ότι η μείωση του ρυθμού των cells και ο αριθμός των απορριπτόμενων ATM πακέτων μπορεί να ελεγχθεί.

Ο σχηματισμός της κίνησης **TS (Traffic Shaping)** είναι μια σημαντική λειτουργία η οποία λαμβάνει χώρα στα τελικά σημεία προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό QoS. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους κίνησης που έχουν διαπραγματευτεί και αποφασιστεί μεταξύ του τελικού χρήστη και της παρεχόμενης υπηρεσίας. Οι παράμετροι αυτές λέγονται παράμετροι που περιγράφουν την κίνηση (**traffic descriptors**).

Ο σχηματισμός της κίνησης ορίζεται ως η μεταβολή της ροής (ρυθμός) των cells σε μια σύνδεση **VC** ή **VP** ώστε να συμβαδίζει με τις συμφωνημένες απαιτήσεις της QoS (μείωση του ρυθμού, απόρριψη των ATM πακέτων). Για να σχηματιστεί η κίνηση χρησιμοποιείται η ένδειξη *προτεραιότητα χαμένων ATM πακέτων* **CLP (Cell Loss Priority)** και η *απόρριψη επιλεκτικών ATM πακέτων*.

Η *μείωση του ρυθμού* καθορίζει το διαπραγματευόμενο κάτω όριο στο οποίο μειώνεται ένας αρχικός ρυθμός όταν στο δίκτυο υπάρχει συμφόρηση.

Η *απόρριψη των ATM πακέτων* καθορίζει τα διαπραγματευόμενα όρια των απορριπτόμενων ATM πακέτων ανά κάθε επιτυχώς μεταδιδόμενο ATM πακέτο, όταν στο δίκτυο υπάρχει συμφόρηση.

Επανερχόμενοι στο πρόβλημα της υπερχειλίσισης των ουρών (queue overflow) πρέπει να τονίσουμε ότι, η διαστασιοποίηση των ουρών αυτών διευκολύνθηκε πολύ από τα χαρακτηριστικά του ATM (προσανατολισμός σε σύνδεση - connection oriented). Αυτό επιτρέπει στον έλεγχο του δικτύου να αποδέχεται ή να απορρίπτει νέες κλήσεις (**call admission control**) αν το υπάρχον φορτίο είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο αντίστοιχα από την τιμή για την οποία σχεδιάστηκαν οι ουρές.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.5.1γ ο ρυθμός απώλειας πακέτων μπορεί να διατηρηθεί σε μια τιμή της τάξης του 10^{-10} για φορτίο γύρω στο 80% της μέγιστης χωρητικότητας του link αν χρησιμοποιηθούν ουρές χωρητικότητας 50 πακέτων.

Παράμετροι Ρυθμού

Οι ακόλουθες παράμετροι ρυθμού ορίζονται για κάθε σύνδεση UNI:

- Ο μέγιστος ρυθμός cells **PCR (Peak Cell Rate)** είναι ο επιτρεπόμενος μέγιστος ρυθμός ATM πακέτων της κίνησης ATM που σχετίζεται με τη συγκεκριμένη σύνδεση.
- Ο ρυθμός των ATM πακέτων που μπορεί να παραταθεί **SCR (Sustainable Cell Rate)** είναι το επιτρεπόμενο άνω όριο του μέσου ρυθμού για κάθε σύνδεση UNI.

2.6 Καθορισμός του μήκους του πεδίου πληροφορίας

Ήδη έχουμε πει ότι το μήκος του πεδίου πληροφορίας των ATM πακέτων είναι σχετικά μικρό. Ωστόσο ήταν απαραίτητο κατά τον ορισμό του ATM να προσδιοριστεί κατά πόσο θα γινόταν χρήση πακέτων σταθερού ή μεταβλητού μήκους, και επιπλέον ποιο θα ήταν το μέγεθος (για τα σταθερά) ή τα όρια (για μεταβλητά) του πεδίου πληροφορίας.

Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, πολλοί ήταν οι παράγοντες που συνέβαλαν στην επιλογή της σημαντικής αυτής παραμέτρου.

2.6.1 Πακέτα μεταβλητού μήκους έναντι σταθερού μήκους

Ένα θέμα το οποίο συζητήθηκε πάρα πολύ πριν καταλήξει σε συμφωνία για τον καθορισμό του ATM ήταν το αν θα χρησιμοποιηθούν πακέτα σταθερού ή μεταβλητού μήκους. Στον αρχικό καθορισμό της ATD, όπως προτάθηκε από την **CNET** γινόταν χρήση πακέτων σταθερού και πολύ μικρού μήκους ίσου με 16 bytes, σε αντίθεση με τον αρχικό καθορισμό της **FPS** που προτάθηκε από τον Turner όπου γινόταν χρήση πακέτων μεταβλητού μήκους. Οι παράγοντες που συνέβαλαν στην επιλογή της μιας από τις δύο λύσεις ήταν η αποδοτικότητα του εύρους ζώνης μετάδοσης, η απόδοση της μεταγωγής (όπως π.χ. η ταχύτητα μεταγωγής κατά της πολυπλοκότητας) και η καθυστέρηση.

Αποδοτικότητα του εύρους ζώνης μετάδοσης

Σε ένα σύστημα μεταγωγής πακέτων έχουμε την εμφάνιση επιβάρυνσης λόγω της επικεφαλίδας. Η απόδοση μετάδοσης ορίζεται ως:

$$n = \frac{\text{Αριθμός των bit πληροφορίας}}{\text{Αριθμός των bit πληροφορίας} + \text{Αριθμός των bit της επιβάρυνσης}} \quad (2.15)$$

(α) Πακέτα σταθερού μήκους

Στην περίπτωση που έχουμε πακέτα με σταθερό μήκος αυτή η απόδοση υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$n_F = \frac{X}{\left\lfloor \frac{X}{L} \right\rfloor (L + H)}$$

όπου L = Μέγεθος του πεδίου πληροφορίας του πακέτου σε bytes

H = Μέγεθος της επικεφαλίδας σε bytes

X = Αριθμός των bytes της χρήσιμης πληροφορίας που θα μεταδοθεί

αν $\lfloor z \rfloor$ αντιπροσωπεύει το μικρότερο ακέραιο που είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το z .

Η απόδοση είναι βέλτιστη για όλα τα μεγέθη χρήσιμης πληροφορίας που είναι ακέραια πολλαπλάσια του πεδίου πληροφορίας δηλ.:

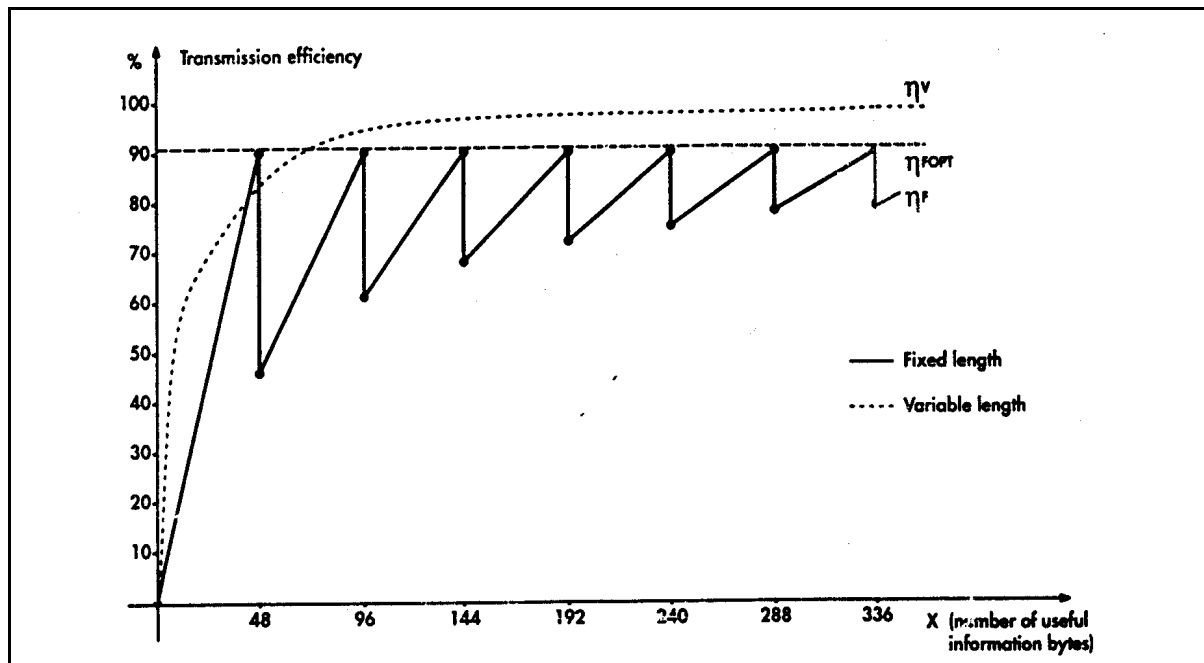
$$\left\lfloor \frac{X}{L} \right\rfloor * L = X$$

Στην περίπτωση αυτή η απόδοση γίνεται:

$$n_{\text{FOPT}} = \frac{L}{L + H}$$

Το σχήμα 2.6.1 δείχνει τη βέλτιστη απόδοση για ένα πακέτο με πεδίο πληροφορίας 48 bytes και επικεφαλίδα 5 bytes δηλ. $L = 48$, $H = 5$. Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε ότι η n_F έχει μια πριονωτή

(αυξομειούμενη) μορφή που εξαρτάται από τον όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας. Για μεγάλο όγκο πληροφορίας η απόδοση αυτή προσεγγίζει τη βέλτιστη.



Σχήμα 2.6.1 Επιβάρυνση στη μετάδοση για σταθερού και μεταβλητού μήκους πακέτα

Μόνο για πολύ μικρό όγκο πληροφορίας η απόδοση αυτή γίνεται μικρή. Έτσι η απόδοση για πακέτα σταθερού μήκους ορίζεται από μια κατανομή του αριθμού των bytes χρήσιμης πληροφορίας. Παρατηρώντας μερικές από τις υπηρεσίες που θα πρέπει να μεταφερθούν από ένα δίκτυο ευρείας ζώνης βλέπουμε ότι η απόδοση μπορεί να έχει τις ακόλουθες μορφές:

- **Για φωνή:** Αφού η φωνή είναι υπηρεσία **CBR (Continuous bit rate)**, δεχόμαστε την περίπτωση όπου το τερματικό του αποστολέα μεταδίδει ένα πακέτο μόνο αφού αυτό γεμίσει πλήρως (εισέρχεται όμως μια καθυστέρηση πακετοποίησης). Έτσι η αποδοτικότητα φτάνει την καλύτερη προσδοκώμενη τιμή.
- **Για video:** Στην περίπτωση που η τεχνική κωδικοποίησης που χρησιμοποιούμε είναι σταθερού ρυθμού η υπηρεσία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως CBR με τα ίδια αποτελέσματα όπως στη φωνή. Αν όμως η χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι μεταβλητού ρυθμού τότε υπάρχει η πιθανότητα τα πακέτα να μην είναι πλήρη. Ωστόσο μια τυπική εικόνα video αποτελείται από χιλιάδες bytes, οπότε έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση της καλύτερης προσδοκώμενης τιμής.

- **Για δεδομένα:** Εδώ πρέπει να κάνουμε μια διάκριση μεταξύ δεδομένων χαμηλής και υψηλής ταχύτητας. Για τα χαμηλής ταχύτητας δεδομένα (π.χ. από ηλεκτρολόγιο) οι μονάδες πληροφορίας είναι μικρές οπότε η αποδοτικότητα είναι πολύ μικρή (γύρω στο 10%). Για τα υψηλής ταχύτητας δεδομένα (π.χ. μεταφορά αρχείων, μεταφορά εικόνας για CAD), ο μεγάλος όγκος πληροφορίας μπορεί να τεμαχιστεί σε μικρά πακέτα σταθερού μήκους με αποτέλεσμα να έχουμε μια καλή προσέγγιση της βέλτιστης τιμής. Για παράδειγμα αν έχουμε πληροφορία 1000 bytes, τότε η απόδοση φτάνει το 89% σε σύγκριση με το 90,5% που είναι η η_{FORT} του παραδείγματος στο σχήμα 2.6.1.

Εφόσον η κίνηση ενός δικτύου ευρείας ζώνης αποτελείται κατά κύριο λόγο από video, υψηλής ταχύτητας δεδομένα και φωνή τότε η συνολική απόδοση μετάδοσης πλησιάζει κατά πολύ τη βέλτιστη έστω και αν χρησιμοποιούμε πακέτα σταθερού μήκους.

(β) Πακέτα μεταβλητού μήκους

Αν τα πακέτα έχουν μεταβλητό μήκος, τότε το μέγεθος της επιβάρυνσης ορίζεται από την επικεφαλίδα, και τα flags καθορίζουν τα όρια των πακέτων (π.χ. 6 bits όπως στα HDLC) σαν μερικά επιπλέον bits παραγεμίσματος για να εξασφαλιστεί η σωστή αναγνώριση των flags. Θα πρέπει επίσης να προσθέσουμε στην επικεφαλίδα ένα δείκτη ο οποίος θα καθορίζει το μέγεθος του πακέτου. Έτσι, η επιβάρυνση γίνεται:

$$n_v = \frac{X}{X + H + h_v} \quad (2.17)$$

όπου h_v είναι η επιβάρυνση της επικεφαλίδας ενός συγκεκριμένου πακέτου που ορίζεται από το χαρακτήρα μεταβλητού μήκους (flags, δείκτες μεγέθους κ.λ.π.). Στο σχήμα 2.6.1 θεωρούμε και πάλι μια επικεφαλίδα 5 bytes και 2 bytes της συγκεκριμένης επιβάρυνσης για το μεταβλητό μήκος (h_v). Παρατηρούμε ότι, για μεταβλητού μήκους πακέτα η απόδοση μετάδοσης είναι πολύ μεγάλη και πλησιάζει το 100% για πακέτα με πολύ μεγάλο μήκος.

Παρόλα αυτά, για πρακτικούς λόγους περισσότερο, όπως καθυστέρηση, μέγεθος buffer κ.λ.π., το μέγιστο μήκος των μεταβλητών πακέτων θα πρέπει να περιοριστεί σε κάποιο συγκεκριμένο κατώφλι.

(γ) Συμπέρασμα

Με βάση την απόδοση μετάδοσης θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η απόδοση των πακέτων μεταβλητού μήκους είναι καλύτερη από αυτή των πακέτων σταθερού μήκους. Αν όμως

εξετάσουμε την συγκεκριμένη περίπτωση ενός δικτύου ευρείας ζώνης που μας ενδιαφέρει, παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ των δύο αποδόσεων είναι περιορισμένη, αφού η κύρια κίνηση που προσφέρουν οι υπηρεσίες ευρείας ζώνης αποτελείται από φωνή, video και μεταφορά όγκου δεδομένων.

Ταχύτητα μεταγωγής και πολυπλοκότητα

Η πολυπλοκότητα της εφαρμογής σταθερού ή μεταβλητού μήκους μεταγωγής εξαρτάται από τις λειτουργίες που έχουμε σε κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις και τη σχετική τεχνολογία που έχουμε στη διάθεση μας για την κάθε λειτουργία. Οι δύο παράγοντες που συμβάλλουν κυρίως σ' αυτή την πολυπλοκότητα είναι ταχύτητα λειτουργίας και οι απαιτήσεις για το μέγεθος των ουρών.

(α) Ταχύτητα λειτουργίας

Η ταχύτητα λειτουργίας εξαρτάται από τον αριθμό των διεργασιών (λειτουργιών) και το διαθέσιμο χρόνο μέσα στον οποίο πρέπει να εκτελεστούν.

** Επεξεργασία της επικεφαλίδας*

Μια πολύ σημαντική λειτουργία στα συστήματα μεταγωγής ATM είναι η επεξεργασία της επικεφαλίδας. Ας υποθέσουμε ότι οι λειτουργίες της επικεφαλίδας είναι και στις δύο περιπτώσεις οι ίδιες. Στην περίπτωση που έχουμε πακέτα σταθερού μήκους ο διαθέσιμος χρόνος μέσα στον οποίο πρέπει να εκτελεστούν οι λειτουργίες αυτές είναι σταθερός (π.χ. ο χρόνος είναι 2.8μsec για 48+5 bytes πακέτο και στα 150 Mbit/s). Στην περίπτωση που έχουμε πακέτα μεταβλητού μήκους ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη χειρότερη περίπτωση (δηλ. το μικρότερο πακέτο) γι' αυτό και χρειαζόμαστε πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας (π.χ. ο χρόνος αυτός είναι 533 nsec για 5+5 bytes πακέτο στα 150 Mbit/s).

** Διαχείριση της μνήμης των ουρών*

Στην περίπτωση των πακέτων σταθερού μήκους, το σύστημα διαχείρισης μνήμης μπορεί να παραχωρεί (μεταβιβάζει) μπλοκ μνήμης του ίδιου μήκους πάντα, και συγκεκριμένα ίσα με το μήκος του πακέτου. Η λειτουργία αυτή είναι μάλλον απλή, όπως απλή είναι και η διαχείριση της ελεύθερης μνήμης η οποία είναι διατεθειμένη σε μπλοκ ίσα με το μέγεθος του πακέτου. Στην περίπτωση των πακέτων μεταβλητού μήκους, το σύστημα διαχείρισης μνήμης πρέπει να μπορεί να παραχωρεί μπλοκ μνήμης με διάφορα μήκη σε bytes γι' αυτό απαιτούνται αλγόριθμοι όπως find best fit, find first fit κ.λ.π. σε πολύ μεγάλες ταχύτητες. Επίσης η διαχείριση της ελεύθερης μνήμης είναι και αυτή πολύπλοκη.

(β) Απαιτήσεις στο μέγεθος των ουρών

Οι απαιτήσεις σε μνήμη ενός συστήματος που βασίζεται σε πακέτα σταθερού μήκους εξαρτώνται από το φορτίο και τα περιθώρια απώλειας πακέτων. Η εξάρτηση αυτή φαίνεται και στο σχ. 2.5.1γ για μια διαδικασία M/D/1. Η διαστασιοποίηση των ουρών γίνεται με αριθμούς πακέτων, όπου μεταφραζόμενη σε bytes σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πακέτο τόσο μεγαλύτερες απαιτήσεις έχουμε σε μνήμη.

Στην περίπτωση των πακέτων μεταβλητού μήκους, η διαστασιοποίηση των ουρών είναι πολύ πιο περίπλοκη και εξαρτάται από μια ποικιλία σε μεγέθη πακέτων. Ένας απλός κανόνας διαστασιοποίησης για πακέτα μεταβλητού μήκους θεωρεί ότι η διαστασιοποίηση γίνεται με βάση τη χειρότερη περίπτωση, δηλ. το μεγαλύτερο πακέτο. Γι' αυτή την απλή λύση όμως, οι απαιτήσεις σε μνήμη είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές για πακέτα σταθερού μήκους, μιας και μπορεί να έχουμε πακέτα πολύ μεγάλου μήκους. Στην περίπτωση που θέλουμε να έχουμε την καλύτερη δυνατή διαστασιοποίηση, θα πρέπει να γνωρίζουμε τη σύσταση της κίνησης εκ των προτέρων που είναι κάπως δύσκολο. Ακόμη πιο δύσκολο είναι όταν η σύσταση της κίνησης είναι μεταβαλλόμενη, οπότε η διαστασιοποίηση θα πρέπει να αλλάζει συνεχώς.

(γ) Συμπέρασμα

Μελετώντας τις δύο παραμέτρους - ταχύτητα λειτουργίας και μέγεθος ουρών - καταλήγουμε στο συμπέρασμα τα πακέτα σταθερού μήκους υπερτερούν των πακέτων μεταβλητού μήκους.

Καθυστέρηση

Όπως είδαμε και στο τμήμα 2.5.1 το μήκος των ATM πακέτων δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο για να μην έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις στο δίκτυο που επηρεάζουν τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Για το λόγο αυτό, αν είναι να προτιμηθούν τα μεταβλητού μήκους πακέτα για το ATM θα πρέπει η μεταβολή αυτή να κυμαίνεται σε πολύ περιορισμένα όρια.

Συμπέρασμα για τη χρήση σταθερού ή μεταβλητού μήκους

Σε ένα δίκτυο ευρείας ζώνης, όπου υπολογίζεται ότι κατά κύριο λόγο θα έχει να κάνει με τη μεταφορά φωνής, video και μεγάλου όγκου δεδομένων, το κέρδος στην απόδοση της μετάδοσης (transmission efficiency) που εξασφαλίζεται από τα μεταβλητού μήκους πακέτα είναι πολύ μικρότερο από το κέρδος που εξασφαλίζεται από τα σταθερού μήκους πακέτα στην ταχύτητα μεταγωγής και στην

πολυπλοκότητα. Επιπλέον, τα όρια μέσα στα οποία κυμαίνεται η μεταβολή των μεταβλητών πακέτων είναι περιορισμένα. Έτσι είναι λογικό να προτιμηθεί η λύση των πακέτων σταθερού μήκους από αυτή των πακέτων μεταβλητού μήκους. Είναι σημαντικό να μη ξεχνάμε ότι η επιλογή αυτή αφορά μόνο το δίκτυο που περιγράψαμε πιο πριν, ότι δηλαδή θα μεταφέρει κατά κύριο λόγο φωνή, video και μεγάλου όγκου δεδομένα. Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση θα πρέπει να γίνει άλλη μελέτη.

Μέχρι το 1988, το ATM είχε ήδη μελετηθεί στην SGXNIII της ITU-T. Τη χρονιά αυτή οι ειδικοί της ITU-T κατέληξαν στην επιλογή των πακέτων σταθερού μήκους και αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ένα άλλο όνομα, εκτός του πακέτου, που θα χαρακτήριζε το γεγονός ότι το πακέτο θα είναι σταθερού μήκους. Έτσι υιοθετήθηκε η ονομασία cell (κελί - κυψελίδα). Έτσι στη συνέχεια θα χρησιμοποιούμε την ονομασία cell για να προσδιορίσουμε το ATM πακέτο σταθερού μήκους.

2.6.2 Μέγεθος του ATM πακέτου

Εφόσον καθορίσαμε τον τύπο των πακέτων που θα χρησιμοποιήσουμε για το ATM (πακέτα σταθερού μήκους), το πρόβλημα μας τώρα συγκεντρώνεται στο ποιο θα είναι το μέγεθος των cells. Πολλοί ήταν οι παράγοντες που επηρεάζονταν από το μήκος του cell, γι' αυτό και έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς ήταν:

- * Απόδοση μετάδοσης
- * Καθυστέρηση (πακεταρίσματος, στις ουρές, ξεπακεταρίσματος κ.λπ.)
- * Πολυπλοκότητα

(α) Απόδοση Μετάδοσης (transmission efficiency)

Η αποδοχή αυτή εξαρτάται από το λόγο του μεγέθους της επικεφαλίδας προς το μέγεθος του πεδίου πληροφορίας. Αν δεχτούμε ότι όλα τα cells είναι γεμισμένα πλήρως τότε η απόδοση αυτή είναι:

$$n_H = \frac{L}{L + H}$$

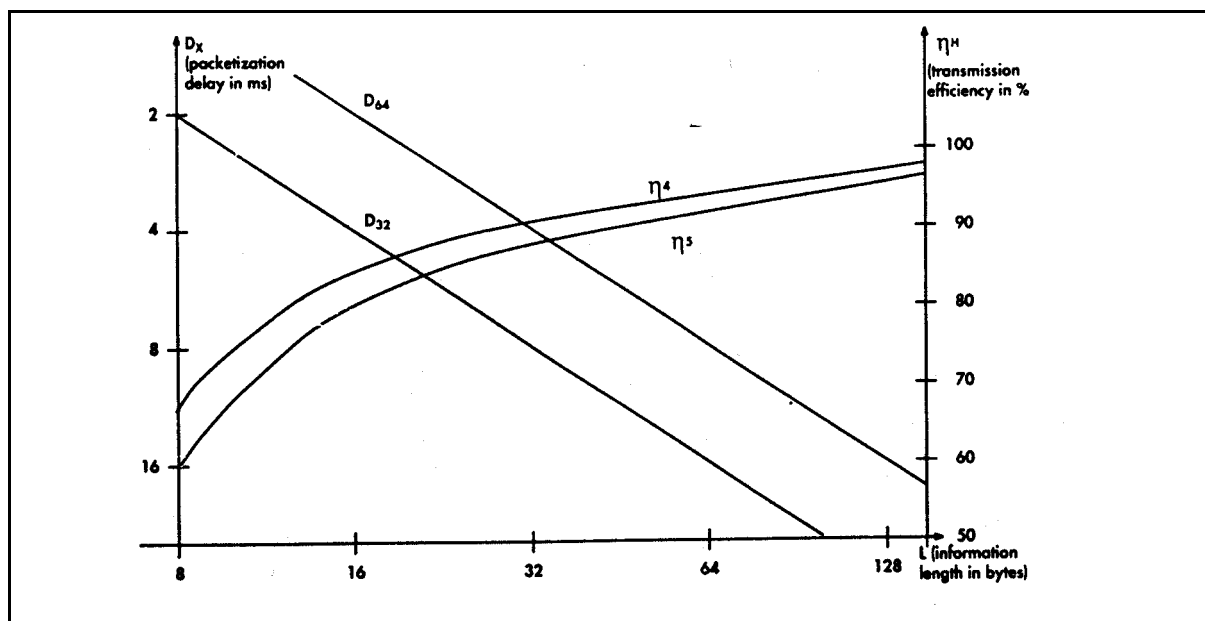
Όσο μεγαλύτερο είναι το πεδίο πληροφορίας τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής απόδοσης n_H για το ίδιο μέγεθος επικεφαλίδας. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.6.2α όπου θεωρήσαμε μία επικεφαλίδα με $H=4$ bytes και έναν άλλον $H = 5$ bytes και πήραμε τους συντελεστές απόδοσης n_4 και n_5 . Μια επικεφαλίδα των 4 ή 5 bytes είναι μια τυπική τιμή για τα ATM cells όπως θα δούμε και στη συνέχεια.

(β) Καθυστερήση (delay)

Μερικές παράμετροι της καθυστέρησης, όπως σταθερή καθυστέρηση (FD), καθυστέρηση ουρών (QD), καθυστέρηση πακεταρίσματος (PD), επηρεάζονται κατά πολύ από το μέγεθος του cell. Ορισμένες από αυτές επηρεάζονται από το μέγεθος του πεδίου πληροφορίας περισσότερο από τις άλλες. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε μερικές από τις παραμέτρους αυτές και θα δούμε τις επιπτώσεις του μεγέθους του cell.

Καθυστερήση Πακεταρίσματος

Η καθυστέρηση πακεταρίσματος για μια υπηρεσία σταθερού ρυθμού αυξάνει σε συνάρτηση με το μέγεθος του πεδίου πληροφορίας όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6.2α. Το σχήμα αυτό δείχνει την καθυστέρηση πακεταρίσματος για φωνή με ρυθμούς κωδικοποίησης 32 kbit/s (D_{32}) και 64 kbit/s (D_{64}). Οι καμπύλες αυτές πάρθηκαν με την προϋπόθεση ότι τα cells είναι πάντα πλήρη. Η αύξηση αυτή στην καθυστέρηση πακεταρίσματος μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην όλη λειτουργία του δικτύου, και κυρίως στη χρονική διαφάνειά του.



Σχήμα 2.6.2α Απόδοση μετάδοσης και καθυστέρηση πακεταρίσματος σε συνάρτηση του μήκους του πεδίου πληροφορίας

Ολική Καθυστέρηση

Η συνολική καθυστέρηση ενός δικτύου δε θα πρέπει να ξεπερνά ορισμένα όρια. Η ITU-T, με την προδιαγραφή Q.161 ορίζει ότι η μέγιστη συνολική καθυστέρηση δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 24ms. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να προβλεφθεί η εγκατάσταση ακυρωτών ηχούς. Για αστικές συνδέσεις, η ολική καθυστέρηση από άκρο σε άκρο μπορεί να διατηρηθεί σε αυτά τα επίπεδα, εάν η καθυστέρηση πακεταρίσματος κυμαίνεται γύρω στα 4ms (ή το μέγεθος του cell γύρω στα 32 bytes). Για cell μεγέθους 64 bytes και με μερικά μικτά κέντρα (σύγχρονα-ασύγχρονα) το όριο των 24ms ξεπερνιέται πολύ εύκολα και γίνεται επιτακτική η χρήση ακυρωτών ηχούς ακόμη και για αστικές συνδέσεις.

Αν θεωρήσουμε το παράδειγμα του πίνακα 2.5.1 (απόσταση μετάδοσης 1000 km, 8 ATM κόμβοι και 2 μικτά) τότε η συνολική καθυστέρηση από άκρο σε άκρο για cell 32 bytes είναι γύρω στα 14ms ενώ για cell 64 bytes 22ms. Είναι φανερό ότι σε μια πραγματική εφαρμογή το cell μεγάλου μήκους θα μας δημιουργήσει πολλά προβλήματα και κυρίως όταν θα θελήσουμε να μεταδώσουμε φωνή. Οι επιλογές για την εκλογή του μεγέθους του cell που προβλήθηκαν ως επικρατέστερες ήταν:

* Ένα cell μικρού μήκους (32 bytes ή μικρότερο), ούτως ώστε να μπορούμε να υποστηρίξουμε όλες τις περιπτώσεις συνδέσεων φωνής, χωρίς τη χρήση ακυρωτών ηχούς.

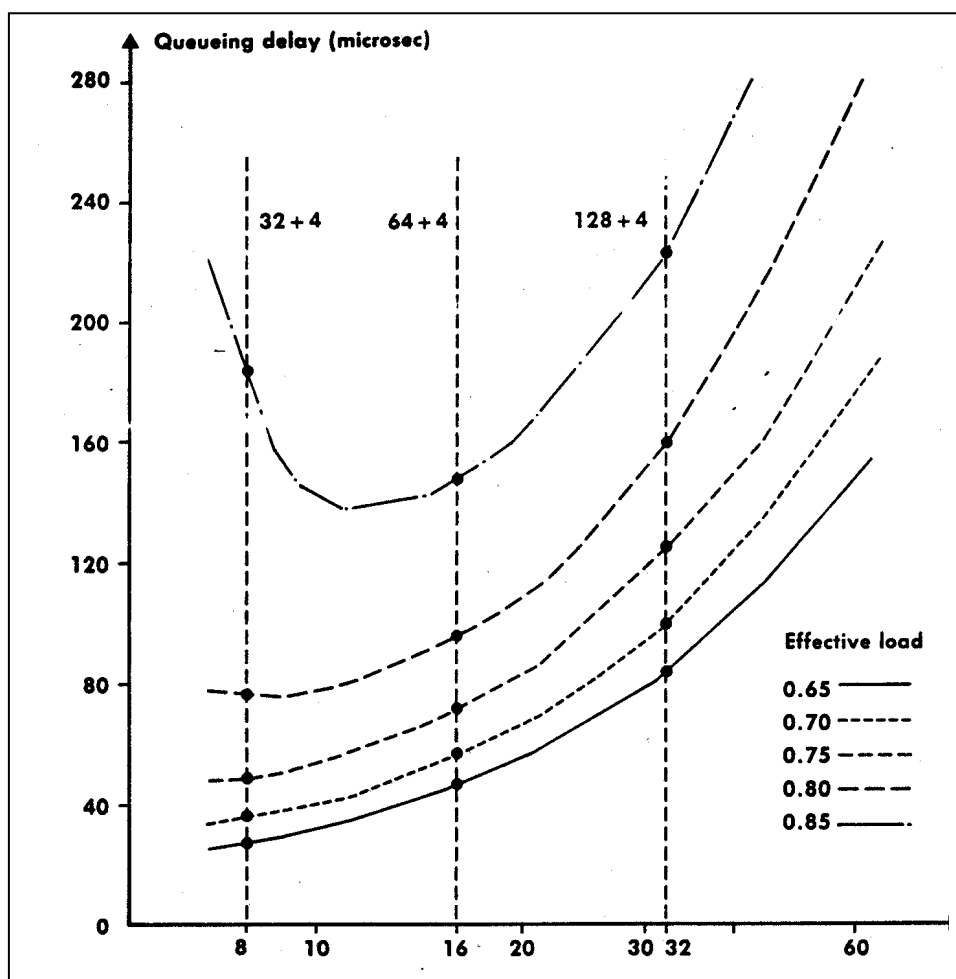
* Ένα cell μεγάλου μήκους (64 bytes ή μεγαλύτερο). Στην περίπτωση αυτή έχουμε δύο επιλογές.

- Να εγκαταστήσουμε ακυρωτές ηχούς για τις περισσότερες συνδέσεις φωνής
- Να μη γεμίζουμε πλήρως τα cells όταν έχουμε συνδέσεις φωνής έτσι ώστε η καθυστέρηση πακεταρίσματος να διατηρείται σε ένα επίπεδο, όπου να μη χρειάζονται ακυρωτές ηχούς. Ωστόσο η λύση αυτή μειώνει την απόδοση μετάδοσης.

* Ένα cell μεσαίου μήκους (32 bytes και 64 bytes). Στην περίπτωση αυτή αποφεύγουμε τη χρήση ακυρωτών ηχούς στις περιπτώσεις που ο αριθμός των κόμβων (i), ο αριθμός των μεταβάσεων από σύγχρονα σε σύγχρονα κέντρα (k) και η απόσταση μετάδοσης δεν είναι πολύ μεγάλη.

Καθυστέρηση ουρών και ξεπακεταρίσματος

Η καθυστέρηση ουρών εξαρτάται από το λόγο μεταξύ του πεδίου πληροφορίας (L) και της επικεφαλίδας (H) όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.2β. Οι καθυστερήσεις αυτές υπολογίστηκαν για υπηρεσίες με ρυθμούς 150 Mbit/s. Οι καμπύλες αυτές ισχύουν για όλες τις τιμές του L και H.



Σχήμα 2.6.2β Καθυστέρηση ουρών σε συνάρτηση του λόγου L/H για διάφορες τιμές ωφέλιμου φορτίου

Ιδιαίτερα για μεγάλα φορτία, έχουμε την αντιπαράθεση δυο μηχανισμών με αντίθετη ενέργεια. Αυξανόμενου του μεγέθους του πεδίου πληροφορίας αυξάνεται και ο χρόνος παραμονής στις ουρές, που σημαίνει (με αποτέλεσμα την) αύξηση της καθυστέρησης ουρών. Αν όμως μειωθεί το μέγεθος του πεδίου πληροφορίας, έτσι ώστε να αυξάνεται ο χρόνος που παραχωρείται σε μια σχετικά μεγάλου μήκους επικεφαλίδα, τότε το ποσοστό του χρόνου που περισσεύει για εξυπηρέτηση της χρήσιμης πληροφορίας μειώνεται με αποτέλεσμα την αύξηση της καθυστέρησης ουρών. Όπως φαίνεται όμως στο σχήμα 2.6.2β η επίδραση αυτή στην καθυστέρηση είναι σχεδόν αμελητέα για τα μεγάλα φορτία

ακόμη κι αν έχουμε cells των 64 bytes (βλέπουμε ότι η διαφορά από τα 32 bytes στα 64 bytes για επικεφαλίδα 4 bytes είναι μόνο 40μs).

Η καθυστέρηση ξεπακεταρίσματος ορίζεται ως η καθυστέρηση jitter και εξαρτάται από τη συνέλιξη πολλών καθυστερήσεων ουρών. Γι' αυτό, όπως και η καθυστέρηση ουρών, έτσι και αυτή η καθυστέρηση επηρεάζεται από την εκλογή του μεγέθους του cell. Όπως είδαμε και στην καθυστέρηση ουρών η επίδραση αυτή είναι περιορισμένη για cells μέχρι και 64 bytes. Το jitter όμως αυτό δεν μπορεί να είναι πολύ μεγάλο διότι το τερματικό λήψης θα πρέπει να το αφαιρεί από τα εισερχόμενα ATM cells αποθηκεύοντας τα σε μνήμες. Έτσι αν το jitter είναι πολύ μεγάλο τότε το τερματικό λήψης θα πρέπει να έχει πολύ μεγάλη μνήμη.

(γ) Πολυπλοκότητα εγκατάστασης

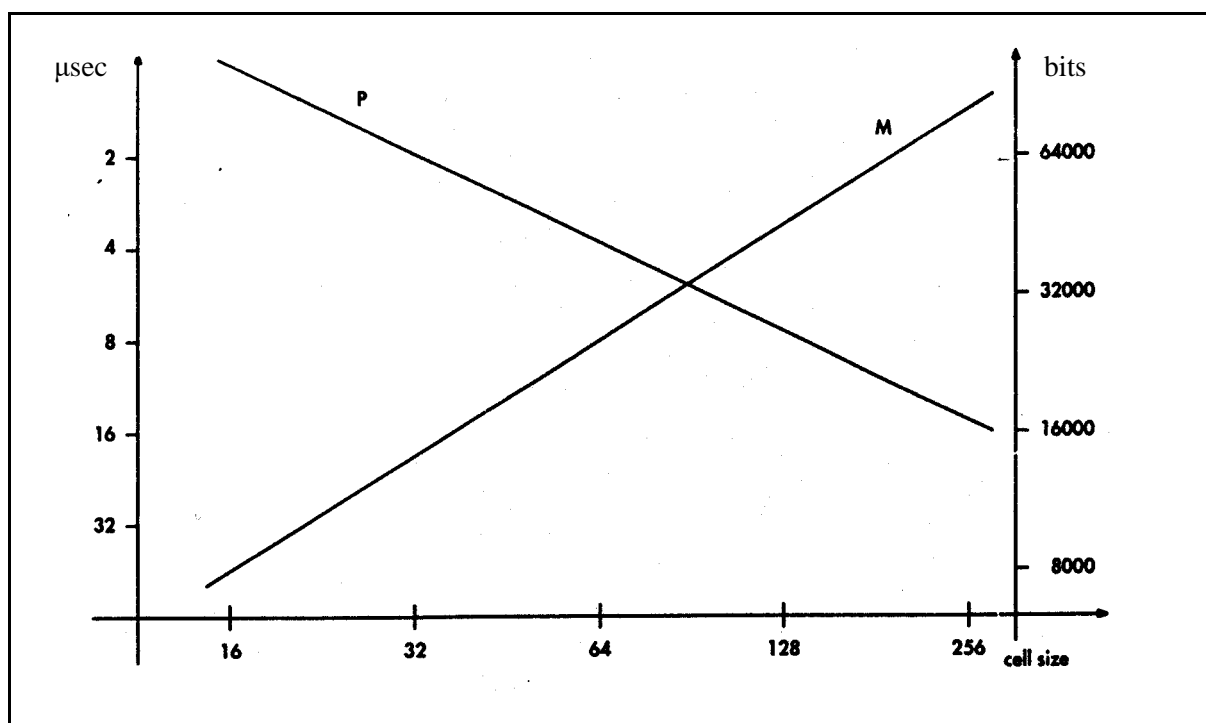
Για να καθορίσουμε την πολυπλοκότητα ενός συστήματος θα περιοριστούμε σε δύο παράγοντες. Στην ταχύτητα και στον αριθμό των απαιτούμενων bits δηλ. τον αριθμό των cells επί το μέγεθος του cell σε bit. Και εδώ έχουμε μια αντιπαράθεση μεταξύ των δυο παραγόντων.

Ανάλογα με το ρυθμό απώλειας πακέτων που επιθυμούμε θα πρέπει και οι ουρές να μπορούν να αποθηκεύουν ένα ορισμένο αριθμό cells. Ο αριθμός αυτός είναι ανεξάρτητος του μεγέθους του cell (σχ. 2.6.2β). Έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του cell τόσο μεγαλύτερο είναι και το μέγεθος της ουράς σε bit. Για ένα συγκεκριμένο δηλαδή ρυθμό απώλειας, διπλασιασμός του cell συνεπάγεται ταυτόχρονα και διπλασιασμό των απαιτήσεων σε μνήμη.

Από την άλλη όμως πρέπει να γίνεται επεξεργασία της επικεφαλίδας για κάθε cell και ο χρόνος που αφιερώνεται για την επεξεργασία αυτή είναι ίσος με το χρόνο που διαρκεί ένα cell. Έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του cell, μεγαλώνει και το χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο θα πρέπει να συμπληρωθεί η επεξεργασία της επικεφαλίδας, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι απαιτήσεις για μεγάλες ταχύτητες στο σύστημα.

Στο σχήμα 2.6.2γ φαίνεται η ταχύτητα επεξεργασίας και οι απαιτήσεις για μνήμη σε συνάρτηση με το μέγεθος του cell όταν το σύστημα λειτουργεί με ταχύτητα 150Mbit/s και οι ουρές έχουν μια χωρητικότητα 50 cells (η επικεφαλίδα είναι σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις και ίση με 4 bytes)

Παρατηρούμε ότι για ένα cell των 16 bytes χρειαζόμαστε μόνο 8000 bits μνήμη, αλλά ο χρόνος μέσα στον οποίο πρέπει να γίνει η επεξεργασία της επικεφαλίδας είναι μόνο 1μs. Για ένα cell των 256 bytes οι απαιτήσεις σε μνήμη ανέρχονται στα 64000 bits αλλά έχουμε στη διάθεσή μας ένα χρόνο 15μs μέσα στον οποίο θα πρέπει να γίνει η επεξεργασία της επικεφαλίδας. Παρόλα αυτά όμως, ο χρόνος του 1μs είναι αρκετός για τη διεκπεραίωση πολλών διεργασιών, έτσι σαν πιο κρίσιμος παράγοντας παραμένει η απαίτηση σε μνήμη.



Σχήμα 2.6.2γ Απαιτήσεις σε μήμη και χρόνος επεξεργασίας σε συνάρτηση του μήκους του cell

(δ) Συμπέρασμα

Μετά από μελέτες αποφασίστηκε ότι το μέγεθος του cell θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 32 και 64 bytes. Η επιλογή αυτή επιβλήθηκε όπως είδαμε από τη συνολική καθυστέρηση του δικτύου, την απόδοση μετάδοσης και την πολυπλοκότητα εγκατάστασης. Ανάλογα με την έμφαση που δίνουμε στον καθένα από τους πιο πάνω παράγοντες είμαστε πιο κοντά στα 32 ή στα 64 bytes.

Πριν η ITU-T καταλήξει στην επιλογή του μεγέθους του cell είχε να μελετήσει δυο προτάσεις. Την Ευρωπαϊκή, που ήταν πιο κοντά στα 32 bytes λόγω των ακυρωτών ηχούς στις συνδέσεις φωνής, και την Αμερικοϊαπωνική που ήταν πιο κοντά στα 64 bytes λόγω της απόδοσης μετάδοσης. Η τελική απόφαση πάρθηκε στο SGXNIII συνέδριο της ITU-T (CCITT) τον Ιούνιο του 1989 στη Γενεύη και ήταν τα 48 bytes.

2.7 Λειτουργικότητα της επικεφαλίδας (Header functionality)

Νοητές Συνδέσεις (Virtual connections)

Ήδη είχαμε αναφέρει ότι ένα από τα χαρακτηριστικά του ATM είναι και οι περιορισμένες λειτουργίες στην επικεφαλίδα. Ο περιορισμός αυτός επιτυγχάνεται κυρίως χάρη στον "connection oriented" χαρακτήρα του ATM. Πράγματι, λειτουργίες όπως η διεύθυνση καλούντος και καλούμενου και η αρίθμηση πακέτων δε χρειάζονται στα ATM δίκτυα λειτουργίες που είναι απαραίτητες στα connectionless δίκτυα. Εδώ κάθε "νοητή" σύνδεση (virtual connection) αντιπροσωπεύεται από έναν αριθμό (identifier) ο οποίος έχει μόνο τοπική σημασία για κάθε link της νοητής σύνδεσης.

Επίσης δεν έχουμε τον έλεγχο λαθών όπως παρουσιάζεται στα δίκτυα X.25 σε κάθε link δηλαδή, αλλά έχουμε έναν έλεγχο από άκρο σε άκρο όταν αυτό απαιτείται από τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να παραληφθεί και τελείως λόγω της χρήσης link πολύ καλής ποιότητας (π.χ. οπτικές ίνες). Στα ATM δίκτυα παραλείπεται (-ονται) επίσης και ο έλεγχος ροής (οι μηχανισμοί ελέγχου ροής όπως π.χ. ARQ) σε κάθε link λόγω της ύπαρξης ενός πολύ καλού μηχανισμού ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Αυτό όπως είδαμε και προηγουμένως μας εξασφαλίζει έναν αποδεκτό αριθμό χαμένων ATM πακέτων.

Η βασική λειτουργία που παραμένει στην επικεφαλίδα είναι η αναγνώριση της νοητής σύνδεσης. Η λειτουργία αυτή εκτελείται από δυο τμήματα της επικεφαλίδας. Το **VCI (Virtual Channel Identifier)** και το **VPI (Virtual Path Identifier)**. Το VCI αναγνωρίζει δυναμικά διαθέσιμες συνδέσεις και το VPI αναγνωρίζει στατικά διαθέσιμες συνδέσεις.

Νοητά Κανάλια (Virtual Channels)

Η λειτουργία αυτή εκτελείται από τον VCI της επικεφαλίδας. Στο μελλοντικό δίκτυο ευρείας ζώνης θα έχουμε τη δυνατότητα εγκατάστασης οπτικών μέσων μετάδοσης. Τα links αυτά έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς εκατοντάδων Mbit/s, ενώ τα νοητά κανάλια καταλαμβάνουν μόνο μερικά kbit/s. Αυτό συνεπάγεται την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών καναλιών μέσα από το ίδιο link. Για 10000 ταυτόχρονα μεταδιδόμενα κανάλια αυτό σημαίνει ότι το πεδίο του VCI πρέπει να είναι μέχρι 18 bits.

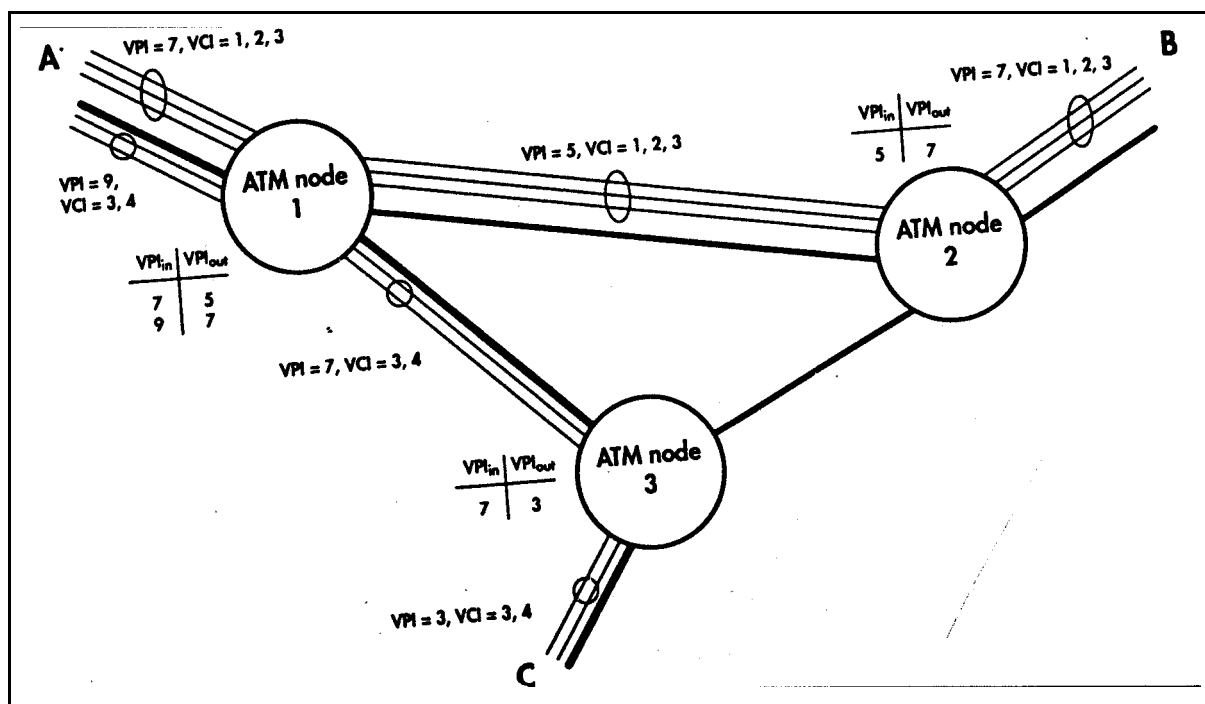
Δεδομένου ότι τα ATM δίκτυα είναι connection oriented, κάθε σύνδεση ορίζεται και από ένα VCI ο οποίος της ανατίθεται στο call set-up. Ένας VCI έχει ισχύ μόνο για ένα link μεταξύ δυο ATM κόμβων και μεταφράζεται στους κόμβους αυτούς όπως εξηγήσαμε και στο σχήμα 2.4. Όταν μία σύνδεση παύει να ισχύει, τότε οι εμπλεκόμενοι VCI μπορούν να δοθούν σε άλλες συνδέσεις.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της αρχής των VCI είναι η χρήση πολλαπλών τιμών του VCI για υπηρεσίες που αποτελούν τη σύνθεση πολλών άλλων υπηρεσιών. Για παράδειγμα η βιντεοφωνία

αποτελεί την σύνθεση 2 υπηρεσιών: video και φωνής οι οποίες μεταδίδονται ξεχωριστά με δύο διαφορετικούς VCI. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να προσθέτει ή να αφαιρεί ένα ή μερικούς από τους παράγοντες που συνθέτουν την υπηρεσία. Στη βιντεοφωνία για παράδειγμα, η υπηρεσία μπορεί να ξεκινήσει μόνο με φωνή (με ένα VCI), μετά από λίγο να προστεθεί (ή αν υπήρχε να αφαιρεθεί) η εικόνα με ξεχωριστό VCI, ενώ η σηματοδότηση θα μεταδίδεται με ένα τρίτο VCI.

Νοητές διαδρομές (Virtual Paths)

Προβλέπεται ότι το μελλοντικό δίκτυο ευρείας ζώνης θα πρέπει να υποστηρίζει ημι-μόνιμες συνδέσεις μεταξύ τερματικών. Αυτές οι ημι-μόνιμες (semi-permanent) συνδέσεις θα πρέπει να μεταφέρουν ένα μεγάλο αριθμό ταυτόχρονων συνδέσεων. Η ιδέα είναι επίσης γνωστή ως "νοητή ή φανταστική διαδρομή" (**Virtual Path - VP**) ή "νοητό δίκτυο". Στην ιδέα αυτή, πόροι του δικτύου διατίθενται προσωρινά για να μας επιτρέψουν μια αποδοτικότερη και απλή διαχείριση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου (σχ. 2.7). Για τη δημιουργία αυτού του νοητού δικτύου προστίθεται στην επικεφαλίδα άλλο ένα πεδίο που ονομάζεται Virtual Path Identifier (VPI).



Σχήμα 2.7 Η χρήση του VPI σε ένα ATM δίκτυο

Στο παράδειγμα του σχήματος 2.7 βλέπουμε ότι μεταξύ του συνδρομητή A και του συνδρομητή C εγκαθίσταται μια νοητή διαδρομή η οποία μεταφέρει δυο ξεχωριστές συνδέσεις με διαφορετικούς

VCI. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα VCI (εδώ το 3 και το 4) δε μεταφράζονται στους κόμβους, αλλά η μεταγωγή γίνεται μόνο βάση του πεδίου VPI της επικεφαλίδας. Όμως το παράδειγμα αυτό δεν απεικονίζει τη γενική περίπτωση όπου η μεταγωγή με βάση τον VPI και τον VCI συνδυάζονται μεταξύ τους σε ένα δίκτυο.

Η διαχείριση αυτών των προσωρινών (semi-permanent) διαδρομών σε ένα δίκτυο δε γίνεται μόνο από μια λογική σύνδεση χαμηλού ρυθμού, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται από μια ομάδα λογικών συνδέσεων. Για το λόγο αυτό το πεδίο του VPI αποτελείται από 8 έως 12 bits για να επιτρέπει την ύπαρξη από 256 έως 4096 νοητών διαδρόμων (VPs). Κάθε νοητή διαδρομή αποτελείται μέχρι και από 64000 νοητά κανάλια.

Προτεραιότητες (Priorities)

Άλλη μια πιθανή λειτουργία που μπορεί να υποστηριχτεί από την επικεφαλίδα είναι η διάκριση λογικών συνδέσεων με διαφορετικές προτεραιότητες. Η ανάγκη για χρήση προτεραιοτήτων αμφισβητήθηκε από μερικούς αφού χωρίζει το δίκτυο σε πολλά "λογικά" υποδίκτυα όπου η κατανομή πλέον των πόρων δεν είναι και η καλύτερη δυνατή. Εντούτοις όμως, η χρήση προτεραιοτήτων μπορεί να φανεί χρήσιμη στην περίπτωση που έχουμε υπερφόρτωση οπότε χάνεται η πληροφορία συνδέσεων χαμηλής προτεραιότητας.

Οι προτεραιότητες που έχουμε είναι δύο ειδών.

- ❖ χρονική προτεραιότητα
- ❖ σημασιολογική προτεραιότητα

Σε ένα σύστημα χρονικής προτεραιότητας θεωρούμε ότι μερικά ATM πακέτα μπορούν να παραμείνουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι μερικά cells μιας σύνδεσης έχουν καλύτερη χρονική διαφάνεια από άλλα. Σε συστήματα σημασιολογικής προτεραιότητας, μερικά cells έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να χαθούν αυξάνοντας έτσι το λόγο απώλειας cells. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να έχουμε cells/σύνδεσεις με διαφορετική σημασιολογική διαφάνεια.

Οι προτεραιότητες (χρονικές ή σημασιολογικές) μπορούν να ανατεθούν είτε ανά σύνδεση (ανά VPI ή ανά VCI) είτε ανά cell. Στην πρώτη περίπτωση όλα τα ATM πακέτα του νοητού καναλιού/διαδρόμου έχουν την ίδια προτεραιότητα. Στη δεύτερη περίπτωση, ATM πακέτα του ίδιου νοητού(-ής) καναλιού/διαδρομής μπορεί να έχουν διαφορετική προτεραιότητα. Η παροχή των προτεραιοτήτων γίνεται είτε explicitly, (αποκλειστικά, με σαφήνεια) ορίζοντας ένα ξεχωριστό πεδίο

στην επικεφαλίδα το οποίο προσδιορίζει την προτεραιότητα, είτε implicitly, με την ανάθεση μιας προτεραιότητας σε κάθε νοητή σύνδεση στο call set-up.

Η επιλογή των implicit προτεραιοτήτων έχει το πλεονέκτημα ότι κάθε τιμή του VCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε προτεραιότητα και επίσης δε χρειάζεται να οριστούν κάποιες firm ideas στον αριθμό των προτεραιοτήτων (σταθερές προτεραιότητες). Ο αριθμός των προτεραιοτήτων προσαρμόζεται εύκολα στις περιπτώσεις που απαιτείται, μιας και είναι διαπραγματεύσιμος στο call set-up από τη σηματοδότηση. Η επιλογή του explicit πεδίου προτεραιοτήτων έχει το πλεονέκτημα ότι η διαδικασία ορισμού μιας προτεραιότητας γίνεται πολύ απλά με την αλλαγή των bits του πεδίου προτεραιοτήτων.

Είναι προφανές ότι όταν δε χρησιμοποιούμε προτεραιότητες έχουμε την καλύτερη δυνατή κατανομή των πόρων, αλλά δεν μπορούμε να κάνουμε διάκριση μεταξύ υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις στην ποιότητα. Πάρα πολλές προτεραιότητες χωρίζουν το δίκτυο σε πάρα πολλά ξεχωριστά νοητά δίκτυα. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε ένας μικρός αριθμός bits special προτεραιότητας. Ο αριθμός των bits που υποστηρίζουν τις προτεραιότητες κυμαίνεται μεταξύ μηδέν (όταν έχουμε implicit προτεραιότητες) και 4 (π.χ. 3 συγκεκριμένα bits για σημασιολογική προτεραιότητα και 1 συγκεκριμένο bit για 2 χρονικές προτεραιότητες).

Συντήρηση (Maintenance)

Για τη συντήρηση του δικτύου και για την επίβλεψη των ATM συνδέσεων είναι αναγκαίο να προσθέσουμε μερικά ακόμη bits στο πακέτο. Μια ενδιαφέρουσα τεχνική κάνει μια διάκριση μεταξύ κίνησης δεδομένων και κίνησης συντήρησης. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **PTI (Payload Type Identification)** αφού το μισθώμενο φορτίο (payload) π.χ. το πεδίο πληροφορίας, μπορεί να μεταφέρει πληροφορίες διαφόρων τύπων (δεδομένων συντήρησης,...). Παρέχει τη δυνατότητα να εισάγουμε σε κάθε νοητή σύνδεση, ειδικά cells τα οποία δρομολογούνται κανονικά όπως τα cells δεδομένων αλλά περιέχουν εξ' ολοκλήρου πληροφορία συντήρησης, όπως ήταν το CRC στα προηγούμενα ATM πακέτα. Αυτά τα ειδικά ATM πακέτα (cells) μπορούν να εισάγονται και να αποσύρονται σε καθορισμένα σημεία του δικτύου (π.χ. από άκρο σε άκρο, σε κάθε πολυπλέκτη, σε κάθε κόμβο μεταγωγής κ.λπ.) ενημερώνοντάς μας έτσι για την κατάσταση του εξοπλισμού μεταξύ του σημείου εισαγωγής και του σημείου εξαγωγής του ATM πακέτου. Επιπλέον, μπορεί να προσθέσουμε ένα ακόμη bit ισοτιμίας σε κάθε ATM πακέτο για να έχουμε ένα απλούστερο και ισχυρότερο έλεγχο σφαλμάτων. Στην πραγματικότητα ένα bit ισοτιμίας σε κάθε cell παρέχει στο δέκτη τη δυνατότητα ανίχνευσης σφαλμάτων στο πεδίο πληροφορίας με πιθανότητα 50%.

Ανάλογα με τις λειτουργίες συντήρησης που υποστηρίζονται από το ATM δίκτυο μπορεί να έχουμε από μηδέν έως δύο bit συντήρησης στην επικεφαλίδα.

Πολλαπλή Πρόσβαση (Multiple access)

Για να παρέχει την δυνατότητα σύνδεσης πολλών τερματικών (χρηστών) μέσω μιας φυσικής σύνδεσης θα πρέπει να αναπτυχθούν πρωτόκολλα point-to-multipoint που επιτρέπουν την ταυτόχρονη χρήση του ίδιου link. Για την εκτέλεση αυτών των point-to-multipoint λειτουργιών απαιτείται η πρόσθεση μερικών ακόμη bits στην επικεφαλίδα. Αξιοσημείωτο είναι ότι μερικοί αλγόριθμοι point-to-multipoint δε χρειάζονται επιπλέον bits όπως ο μηχανισμός register-insertion (Liu ring). Ο αριθμός των bits που απαιτούνται για την εκτέλεση των λειτουργιών αυτών κυμαίνεται από μηδέν έως δύο, ανάλογα με τον έλεγχο πρόσβασης μέσου (MAC). Η διαδικασία αυτή είναι επίσης γνωστή ως Γενικός Έλεγχος Ροής (GFC).

Προστασία της επικεφαλίδας από σφάλματα (Header error protection)

Όπως αναφέραμε και στο τμήμα περί σημασιολογικής διαφάνειας, η λάθος δρομολόγηση μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος. Η κατάσταση αυτή βελτιώνεται όπως είδαμε κατά πολύ αν προφυλάξουμε την επικεφαλίδα από λάθη ενός bit και πιθανόν από κρουστικά λάθη. Όπως εξηγήσαμε και στο τμήμα 2.6.2 ο πιο ενδιαφέρον αλγόριθμος είναι προσαρμοζόμενος και επιτρέπει διόρθωση λαθών ενός bit και ανίχνευση λαθών πολλαπλών bit.

Για την προστασία της επικεφαλίδας χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία μια τεχνική κωδικοποίησης βασισμένη στον κώδικα Hamming. Η ομάδα αυτή κωδικών ονομάζεται **BCH (Bose-Chadhuri-Hocquenghem)**. Είναι κυκλικοί κώδικες οι οποίοι παρέχουν μεγάλη επιλογή για διάφορα μήκη ATM πακέτων, και διαφορετική ικανότητα διόρθωσης λαθών όπως φαίνεται στον πίνακα 2.7 για ένα περιορισμένο αριθμό τιμών των μεταβλητών n , k και t . Παρατηρούμε ότι για μια κωδική λέξη των n bits, k bits μπορούν να διορθωθούν χάρη στα $(n - k)$ πλεονάζοντα bits. Αν θέλουμε να διορθώσουμε για παράδειγμα λάθος του ενός bit σε επικεφαλίδα ωφέλιμου μήκους 26 bits χρειαζόμαστε 5 bits επιβάρυνση. Αν χρησιμοποιήσουμε τις μεταβλητές n , k και t όπως φαίνονται στον πίνακα 2.7 μπορούμε να κάνουμε μόνο διορθώσεις t bits. Αν όμως ο αριθμός των υπό προστασία bits δε βρίσκεται στη λίστα, τότε παίρνουμε την τιμή του k μεγαλύτερη από αυτή του πίνακα. Αυτό μας παρέχει επίσης την επιπλέον δυνατότητα ανίχνευσης λαθών (διαφέρει από αυτή που περιγράφηκε στον προσαρμοζόμενο αλγόριθμο). Αν θέλουμε π.χ. να προστατεύσουμε 64 bits με δυνατότητα διόρθωσης λαθών ενός bit χρειαζόμαστε κώδικα των 7 bits ($127-120=7$). Με αυτά όμως τα 7 επιπλέον bits μπορούμε εκτός από τη διόρθωση λαθών ενός bit να κάνουμε και ανίχνευση πολλαπλών σφαλμάτων.

Πίνακας 2.7 Κώδικες BCH

n Συνολικός αριθμός bit	k Χρήσιμα bit	t Διορθώσιμα bit
31	26	1
	21	2
	16	3
63	57	1
	51	2
	45	3
127	120	1
	113	2
	106	3

Για να μπορεί το σύστημα να υποστηρίξει αυτές τις λειτουργίες πρέπει οι δείκτες να έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν τις ακόλουθες διεργασίες:

- (1) Να μπορούν να υπολογίζουν την τιμή του ονομαζόμενου "syndrome" χρησιμοποιώντας τα εισερχόμενα bits.
- (2) Αν το "syndrome" είναι μηδέν τότε δεν υπάρχουν λάθη. Αν όμως είναι διάφορο του μηδενός θα πρέπει με βάση την τιμή του syndrome να μπορεί να υπολογίσει πιο bit πρέπει να διορθωθεί.

Αν ο αριθμός των bits που πρέπει να διορθωθούν είναι μικρότερος από αυτόν που φαίνεται στον πίνακα 2.7 τότε στο δεύτερο στάδιο θα πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ απλών και πολλαπλών σφαλμάτων. Για σφάλματα ενός bit η τιμή του syndrome μας οδηγεί σε μια ήδη υπάρχουσα κωδική λέξη και με τον τρόπο αυτό γίνεται η διόρθωση του σφάλματος. Στην περίπτωση που έχουμε πολλαπλά σφάλματα, υπάρχει μια συγκεκριμένη πιθανότητα για την οποία η τιμή του syndrome μας οδηγεί σε μια κωδική λέξη μη αποδεκτή (non existing). Όταν η λέξη φτάσει στον αποκωδικοποιητή, αυτός θα διαπιστώσει ότι έχει γίνει κάποιο σφάλμα χωρίς όμως να μπορεί να το διορθώσει.

Στον πίνακα 2.7 φαίνεται το ποσοστό των πολλαπλών σφαλμάτων που μπορεί να ανιχνευτεί αν θεωρήσουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης σφαλμάτων ενός bit. Το ποσοστό αυτό υπολογίστηκε ως συνάρτηση του μήκους όλων των burst. Από τον πίνακα 2.7 παρατηρούμε ότι για τα 3 παραδείγματα ($k = 32, 40, 48$) χρειαζόμαστε 6 τουλάχιστον bits για τη διόρθωση ενός bit. Αν προσφέρουμε αυτά τα επιπλέον bits τότε η ικανότητα ανίχνευσης σφαλμάτων αυξάνεται όπως φαίνεται στον πίνακα 2.7α. Έτσι με την προσθήκη στην επικεφαλίδα 8 bits έχουμε μια σημαντική βελτίωση στην ικανότητα ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων (HEC). Καλό θα ήταν να ληφθεί πρόνοια για μερικά bits επιπλέον τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από μελλοντικές λειτουργίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον προς το παρόν. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις λειτουργίες που έχουν περιγραφεί καταλήγουμε σε μια επικεφαλίδα για τα ATM cells του οποίου το μήκος κυμαίνεται μεταξύ 2 και 7 bytes ανάλογα με τις λειτουργίες που παρέχει το δίκτυο.

Πίνακας 2.7α Ικανότητα ανίχνευσης λαθών για διόρθωση ενός μόνον bit

Coding bits Bits to protect	6	7	8
32	48 %	74 %	89 %
40	36 %	68 %	84 %
48	23 %	62 %	81 %

Πίνακας 2.7β Λειτουργικότητα επικεφαλίδας και απαιτούμενο μήκος

Λειτουργίες	Απαιτούμενα bits	ITU-T (NNI/UNI)
VCI	8-12	16
VPI	8-12	12/8
Priorities	0-4	1
Maintenance/Payload Type	0-2	2
Point-to-multipoint	0-8	0/4
Header Error Control (HEC)	0-8	8
Reserved	0-6	1
Total	16-56	40

Στον πίνακα 2.7β βλέπουμε τα bits που απαιτούνται για την κάθε υπηρεσία και τις επιλογές που είχε αρχικώς κάνει η ITU-T (CCITT) για το **UNI (User Network Interface)** και το **NNI (Network Node Interface)**.

2.8 Λειτουργίες υποστήριξης (Supportive functions)

Σε κάθε σύστημα μεταγωγής ο τερματικός κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο θα πρέπει να είναι σε θέση να ξεχωρίζει τα όρια του πακέτου. Στο HDLC για παράδειγμα όπου έχουμε πακέτα με μεταβλητά μήκη, η διάκριση αυτή γίνεται με flags δηλ. μια ακολουθία από bits η οποία δεν επιτρέπεται να εμφανίζεται μέσα στο πακέτο στις θέσεις των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, για να εξασφαλιστεί η πλήρης διαφάνεια των δεδομένων, όπου εμφανίζεται η ακολουθία αυτή μέσα στα δεδομένα γίνεται παραγέμισμα με ένα επιπλέον bit το οποίο αφαιρείται στη συνέχεια από το δέκτη.

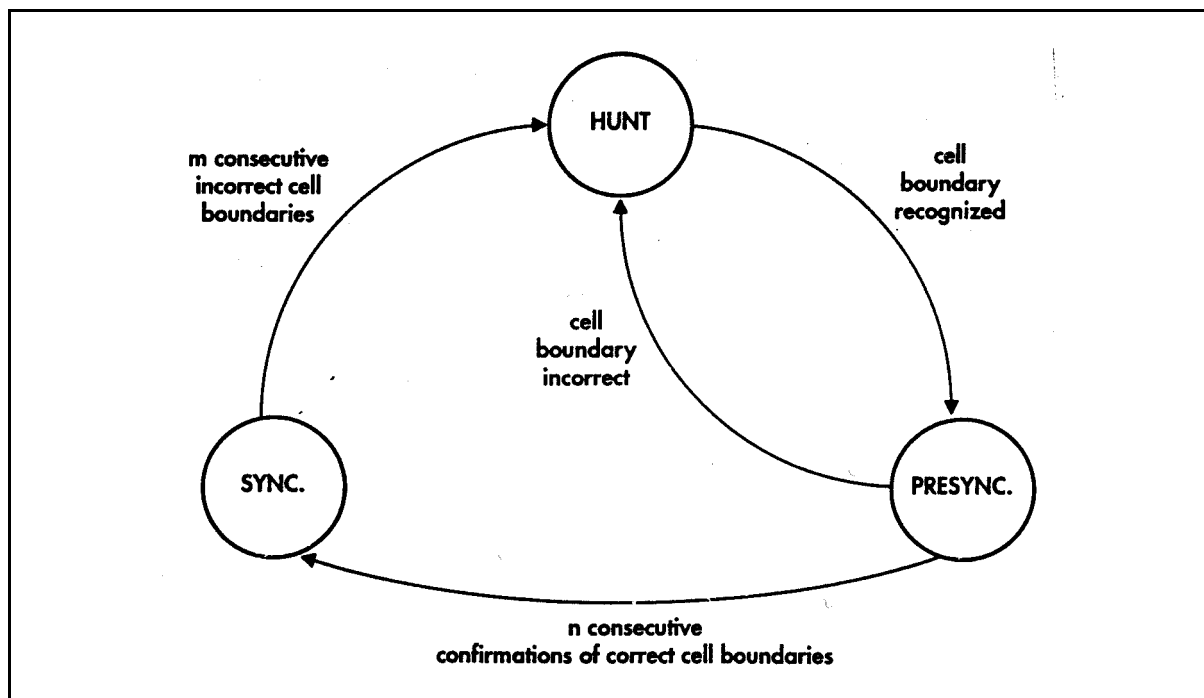
Η τεχνική των flags μπορεί κάλλιστα να εφαρμοστεί και για τα ATM συστήματα, δεν ενδείκνυται όμως η εφαρμογή του παραγεμίματος στις υψηλές ταχύτητες ενός δικτύου ευρείας ζώνης. Εφόσον όμως τα ATM πακέτα έχουν σταθερό μήκος τότε μπορούμε να εφαρμόσουμε διαφορετικούς τρόπους διάκρισης των cells. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τους πιο ενδιαφέροντες, από πλευράς πολυπλοκότητας και λειτουργικότητας, τρόπους διάκρισης cells από τους οποίους τελικά η ITU-T επέλεξε ένα. Οι μηχανισμοί αυτοί βασίζονται:

- * Στη χρήση κενών ATM πακέτων.
- * Στον έλεγχο του κώδικα σφάλματος της επικεφαλίδας (HEC).
- * Στον εντοπισμό ειδικών (ειδικού περιεχομένου) ATM πακέτων τα οποία αποστέλλονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα (periodic ATM cells).

Κάθε μια από τις προτεινόμενες αυτές λύσεις (όπως και κάθε διαδικασία συγχρονισμού) μπορεί να περιγραφεί από ένα διάγραμμα καταστάσεως το οποίο αποτελείται από τρεις καταστάσεις (σχήμα 2.8) (a) HUNT, (b) PRESYNC και (c) SYNC. Στην HUNT κατάσταση το σύστημα ελέγχει βασικά κατά πόσο υπάρχουν περιοχές cells, με μηχανισμούς όπως π.χ. bit by bit. Αν υπάρχουν, τότε το σύστημα μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση που είναι η PRESYNC.

Εδώ οι περιοχές ελέγχονται κατά cell (cell by cell). Αν βρεθούν n ορθές, διαδοχικές περιοχές cells τότε το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση SYNC. Το σύστημα αντιλαμβάνεται από μόνο του ότι έχει χάσει τα όρια των cells (το cell delineation) αν m συνεχόμενες φορές μια περιοχή cell λείπει. Οι

παράμετροι n και m αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την ταχύτητα με την οποία το σύστημα ανακτά το συγχρονισμό των cells και την ταχύτητα με την οποία αντιλαμβάνεται την απώλεια του συγχρονισμού.



Σχήμα 2.8 Γενικό διάγραμμα καταστάσεων διαχωρισμού ATM πακέτων

Η λειτουργικότητα των καταστάσεων κάθε μιας από τις 3 μεθόδους διάκρισης των ATM πακέτων είναι η ακόλουθη:

(1) *Διάκριση με τη χρήση άδειων ATM πακέτων (Delineation using empty cells)*

Τα άδεια ATM πακέτα διακρίνονται από μια συγκεκριμένη ομάδα bits στην επικεφαλίδα. Στην κατάσταση HUNT γίνεται αναζήτηση της ομάδας αυτής είτε με bit by bit είτε με byte by byte έλεγχο του εισερχόμενου συρμού bits. Για την ελάττωση της πιθανότητας με την οποία η ομάδα αυτή θα εμφανίζεται σε μια συνήθη ακολουθία από bits θα πρέπει το μήκος της σε bits να μην είναι πολύ μικρό.

Στην κατάσταση PRESYNC γίνεται έλεγχος “cell by cell” της ομάδας αυτής των bits για να διαπιστωθούν τα όρια των ATM πακέτων. Εδώ μπορεί να γίνει χρήση των ήδη γνωστών ορίων των

ATM πακέτων. Αφού όλα τα ATM πακέτα έχουν ίσο και σταθερό μήκος, εύκολα μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των διαδοχικών cells, με απλή πρόσθεση του μήκους των. Από τη στιγμή που δεν έχουμε μετάδοση πληροφορίας, στο δίκτυο έχουμε μόνο κενά ATM πακέτα. Μεσολαβεί ένα μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που θα εμφανισθεί ένα άδειο ATM πακέτο μέχρι τη στιγμή που θα ληφθεί το επόμενο. Για το λόγο αυτό η "περίοδος βεβαιότητας" (confidence period), κατά την οποία αποφασίζεται κατά πόσο το σύστημα είναι συγχρονισμένο ή όχι, θα πρέπει να καλύπτει ένα λογικό αριθμό cells (ο αριθμός αυτός καθορίζεται από το πόσο βέβαιο θέλουμε να είμαστε). Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται και στην κατάσταση SYNC για την εξακρίβωση της απώλειας συγχρονισμού. Πριν το σύστημα καταλήξει στην απόφαση ότι έχει χάσει το συγχρονισμό του θα χρειαστεί ένα χρονικό διάστημα πριν φτάσει σε ένα "επίπεδο βεβαιότητας" (confidence level) λόγω της ύπαρξης της πιθανότητας να μην έχουμε λάβει άδειο cell στο χρονικό αυτό διάστημα εξ αιτίας του μεγάλου φορτίου του καναλιού. Η πιθανότητα της μη λήψης άδειου ATM πακέτου για μεγάλο χρονικό διάστημα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

(2) Διάκριση των ATM πακέτων με τη μέθοδο HEC.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τη συσχέτιση μεταξύ των αρχικών bits της επικεφαλίδας και των bits που εισάγονται στην επικεφαλίδα από τον HEC (Header Error Control - Έλεγχος Λαθών της Επικεφαλίδας) με τη βοήθεια ενός πολυωνύμου κοινού στον πομπό και στο δέκτη.

Στην κατάσταση HUNT, η διαδικασία "delineation" (καθορισμού) γίνεται με έλεγχο (bit by bit ή byte by byte) κατά πόσο ο κανόνας της HEC κωδικοποίησης ακολουθείται από το υποτιθέμενο πεδίο της επικεφαλίδας. Αν η κωδικοποίηση αυτή δεν τηρείται, εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος στα bit/byte του συρμού μετατοπισμένα κατά μία θέση bit/byte. Όταν διαπιστωθεί η τήρηση του κανόνα κωδικοποίησης HEC τότε μεταβαίνουμε στην κατάσταση PRESYNC, όπου απαιτούνται η επιβεβαίωση ορθής τήρησης του κώδικα HEC για να μπορέσουμε στη συνέχεια να μεταβούμε στην κατάσταση SYNC. Στην κατάσταση SYNC, η επιβεβαίωση της μη ορθής τήρησης της κωδικοποίησης HEC μας οδηγούν στην απώλεια του συγχρονισμού και στην επιστροφή μας στην κατάσταση HUNT.

Εσκεμμένη ή κατά λάθος επαλήθευση της κωδικοποίησης HEC από το πεδίο πληροφορίας μπορεί να προκαλέσει λανθασμένο συγχρονισμό που θα αυξήσει έτσι τον απαιτούμενο χρόνο συγχρονισμού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας περιπλέκτης δεδομένων (scrambler) ο οποίος ανακατεύει τυχαία τα bits του πεδίου πληροφορίας. Μας εξασφαλίζει έτσι, ότι τα bits στο πεδίο πληροφορίας έχουν μια ψευδο-τυχαία διαδοχή με αποτέλεσμα η πιθανότητα τήρησης του κανόνα κωδικοποίησης HEC από το πεδίο αυτό να είναι αμελητέα.

(3) Συγχρονισμός με περιοδική χρήση cells (*Periodic cell Synchronization*)

Για να αποφύγουμε εσκεμμένους ή αθέλητους λανθασμένους συγχρονισμούς, οι οποίοι μπορεί να συμβούν στη μεν πρώτη προτεινόμενη λύση (empty cells) όταν η "περίοδος βεβαιότητας" είναι πολύ μικρή ενώ στη δεύτερη (HEC delineation) όταν δε χρησιμοποιείται scrambler στο πεδίο πληροφορίας, μπορούμε να επιβάλλουμε στο σύστημα περιοδικά cells. Με το μηχανισμό αυτό, ο πομπός επιβάλλει τη συχνή προσθήκη περιοδικών cells (συγχρονισμού, περιοδικότητας) μέσα στο συρμό πληροφορίας, εισάγοντας κατά κάποιο τρόπο ένα είδος πλαισίων τα οποία έχουν διάρκεια μιας περιόδου T . Τα περιοδικά cells διακρίνονται από μια συγκεκριμένη τιμή της επικεφαλίδας. Η τεχνική αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδική περίπτωση της πρώτης λύσης στην οποία έχουμε μετάδοση κενών cells κατά τη διάρκεια της μετάδοσης πληροφορίας.

Στην περίπτωση που έχουμε περιοδικό συγχρονισμό cells, στην κατάσταση HUNT γίνεται ανίχνευση της τιμής της επικεφαλίδας ενός περιοδικού cell. Όταν ανιχνευτεί η τιμή αυτή, ο δέκτης αναμένει να πάρει την τιμή αυτή μετά από χρόνο T στην κατάσταση PRESYNC. Στη συνέχεια απαιτούνται n επιβεβαιώσεις της περιόδου αυτής έτσι ώστε να γίνει μετάβαση στην κατάσταση SYNC. Στη λύση αυτή δεν παρουσιάζεται το πρόβλημα του λανθασμένου συγχρονισμού με την παρεμβολή της επικεφαλίδας του άδειου cell στο πεδίο πληροφορίας διότι η προσθήκη των ειδικών αυτών cells γίνεται από το ίδιο το σύστημα σε τακτές χρονικές περιόδους T . Ο καθορισμός της χρονικής περιόδου T γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε χρόνο συγχρονισμού και αποδοτικότητας εύρους ζώνης. Στην πραγματικότητα η προσθήκη των περιοδικών cells μειώνει την αποδοτικότητα τους εύρους ζώνης αφού έχουμε μεταφορά άχρηστης πληροφορίας μέσα από το κανάλι. Από την άλλη όμως όσο μικρότερη είναι η περίοδος T (περισσότερα περιοδικά cells στο κανάλι) τόσο πιο γρήγορα το σύστημα μπορεί να διαπιστώσει αν είναι ή όχι συγχρονισμένο.

Συμπέρασμα

Με μικρές μετατροπές των μηχανισμών που περιγράφηκαν πιο πάνω μπορεί να προκύψουν και άλλες εναλλακτικές λύσεις, αλλά τελικά η ITU-T επέλεξε την τεχνική η οποία βασίζεται στην κωδικοποίηση HEC με προσθήκη scrambler (περιπλέκτης δεδομένων) στο πεδίο πληροφορίας.