

ATM

A.A. Οικονομίδης
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
conta.uom.gr

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ATM (ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE)

- τεχνολογία μεταγωγής και πολυπλεξίας σ' επίπεδο **κυψελίδων** (cells),
- υλοποίηση Ευρυζωνικών Ψηφιακών Δικτύων Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Broadband-Integrated Services Digital Networks - B-ISDN),
- ενοποίηση όλων των τύπων υπαρχόντων δικτύων σε ενιαία ομογενή υποδομή που θα υποστηρίζει όλα τα μέσα επικοινωνιακών υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα, εικόνα, βίντεο κτλ.).

οργανισμός ITU-T περιγράφει πέντε κλάσεις υπηρεσιών:

- 1) Υπηρεσίες Συνδιάλεξης (Conversation Services),
- 2) Υπηρεσίες Ανταλλαγής Μηνυμάτων (Messaging Services),
- 3) Υπηρεσίες Ανάκτησης Δεδομένων (Data Retrieval Services),
- 4) Υπηρεσίες Διανομής χωρίς τον έλεγχο του χρήστη (Distribution services without user control),
- 5) Υπηρεσίες Διανομής με έλεγχο από τον χρήστη (Distribution services with user control).

Υποστηρίζει κυκλοφορία (κίνηση)

- **προσανατολισμένη προς τη σύνδεση** (Connection Oriented) &
- **χωρίς σύνδεση** (Connectionless).

Παρέχει:

- **Μόνιμα Νοητά Κυκλώματα** (Permanent Virtual Circuits - PVCs) &
- **Μεταγώγιμα Νοητά Κυκλώματα** (Switched Virtual Circuits - SVCs).

Τα νοητά αυτά κανάλια μπορούν να υποστηρίξουν:

- **σταθερό ρυθμό δυαδικών ψηφίων**
(Constant Bit Rate - CBR) ή
- **μεταβλητό ρυθμό δυαδικών ψηφίων**
(Variable Bit Rate - VBR).

Κάθε κυψελίδα (cell) που στέλνεται στο δίκτυο περιέχει πληροφορίες διευθυνσιοδότησης που επιτρέπουν την εγκατάσταση ενός νοητού καναλιού μεταξύ των σημείων αποστολής και λήψης. Στη συνέχεια, όλες οι κυψελίδες που ανήκουν σ' αυτή τη σύνδεση μεταφέρονται μέσω του νοητού καναλιού με τη σειρά αποστολής τους.

Η παροχή εύρους ζώνης γίνεται κατόπιν ζήτησης. Χρησιμοποιεί πολυπλεξία διαφόρων ροών κίνησης (όπως τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου) και την από άκρο-σε-άκρο σύνδεση (όπως τα δίκτυα νοητού κυκλώματος)

Κατηγορίες διατάξεων προσαρμογής σε δίκτυο ATM:

1. Προσαρμογή Δικτύου-σε-Δίκτυο
(Network-to-Network Interface - NNI)
2. Προσαρμογή Χρήστη-σε-Δίκτυο
(User-to-Network Interface - UNI)

Η επικεφαλίδα κάθε κυψελίδας περιέχει:

κωδικούς αναγνώρισης νοητού μονοπατιού (Virtual Path Identifier - VPI) & κωδικούς νοητού καναλιού (Virtual Channel Identifier - VCI).

Αυτοί οι κωδικοί ορίζουν τη δρομολόγηση και χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της πολύπλεξης.

Η μεταφορά πληροφορίας σε δίκτυα ATM βασίζεται σε πρωτόκολλα χαμηλού επιπέδου και η μεταγωγή των κυψελίδων υλοποιείται με διακόπτες (Switches).

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΤΟΥ Β-ISDN ΓΙΑ ATM

Το Μοντέλο Αναφοράς Πρωτοκόλλων
(Protocol Reference Model-PRM)

που περιγράφεται στις συστάσεις I.121 της ITU-T
αποτελείται από τρία κατακόρυφα επίπεδα:

5. Επίπεδο Χρήστη (User Plane).
6. Επίπεδο Ελέγχου (Control Plane).
7. Επίπεδο Διαχείρισης (Management Plane).

Το **Επίπεδο Χρήστη** (U-plane) υποστηρίζει τις εφαρμογές. Περιλαμβάνει το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ATM και το επίπεδο προσαρμογής στο ATM (ATM Adaptation Layer - AAL).

Το **Επίπεδο Ελέγχου** (C-plane) περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν την εγκατάσταση και τερματισμό των κλήσεων (σύνδεσης) καθώς και λειτουργίες ελέγχου σύνδεσης. Μοιράζεται το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ATM με το Επίπεδο Χρήστη. Επίσης παρέχει διαδικασίες προσαρμογής στο ATM και πρωτόκολλα σηματοδότησης ανώτερων επιπέδων.

Το **Επίπεδο Διαχείρισης** (M-plane) παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες διαχείρισης και τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των Επιπέδου Χρήστη και Επιπέδου Ελέγχου.

Αποτελείται από:

4. τη Διαχείριση Στρωμάτων (Layer Management),
5. τη Διαχείριση Επιπέδων (Plane Management).

Το **Φυσικό Στρώμα** παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο. Περιλαμβάνει:

1. το **Υπόστρωμα Σύγκλισης Μεταφοράς**
(Transport Convergence - TC)
όπου γίνεται η αντιστοίχιση κυψελίδων στο φυσικό μέσο και
2. το **Εξαρτώμενο από Φυσικό Μέσο Υπόστρωμα**
(Physical Medium Dependent - PMD).

Το **ΑΤΜ Στρώμα** υποστηρίζει τη μεταφορά κυψελίδων μεταξύ των χρηστών.

Υλοποιείται στις τερματικές διατάξεις των χρηστών.

Για τη μεταφορά των κυψελίδων χρησιμοποιούνται νοητές συνδέσεις.

Επίσης παρέχει τις λειτουργίες πολύπλεξης που επιτρέπουν την εγκατάσταση πολλαπλών συνδέσεων μέσω μίας διάταξης Προσαρμογής Χρήστη στο Δίκτυο (UNI).

Το Στρώμα Προσαρμογής στο ATM (ATM Adaptation Layer - AAL) αντιστοιχεί τα δεδομένα των ανωτέρω επιπέδων σε κυψελίδες. Αποτελείται από τα:

- 1. Υπόστρωμα Σύγκλισης (Convergence-CS) και**
 - 1.1. το Ειδικό για Υπηρεσίες (Service Specific - SS)
 - 1.2. το Κοινό Τμήμα (Common Part - CP).
- 2. Υπόστρωμα Τμηματοποίησης & Επανασυναρμολόγησης (Segmentation And Reassembly - SAR).**

ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

Παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο και είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των κυψελίδων.
Διαιρείται στα:

- **Υπόστρωμα Σύγκλισης Μεταφοράς** (Transport Convergence - TC) και
- **Υπόστρωμα Εξαρτώμενο από Φυσικό Μέσο** (Physical Medium Dependent - PMD).

Υπόστρωμα Σύγκλισης Μεταφοράς

περιλαμβάνει τις ακόλουθες, ανεξάρτητες από το φυσικό μέσο, λειτουργίες μετάδοσης:

- δημιουργία & ανάκτηση πλαισίου μετάδοσης,
- προσαρμογή πλαισίου (αντιστοίχιση κυψελίδων σε πλαίσιο & αντίστροφα),
- απεικόνιση κυψελίδας (αναγνώριση & ανάκτηση από τα όρια της κυψελίδας),
- επεξεργασία ελέγχου λάθους της επικεφαλίδας κυψελίδας και δημιουργία του αντίστοιχου πεδίου,
- αποσύνδεση ρυθμού κυψελίδων (εισαγωγή & εξαγωγή κενών κυψελίδων).

Υπόστρωμα Εξαρτώμενο από Φυσικό Μέσο

ασχολείται με τα ηλεκτρικά ή οπτικά θέματα της φυσικής προσαρμογής.

Τα πρότυπα ANSI (T1.624) περιγράφουν τρεις μονότροπες οπτικές διατάξεις προσαρμογής στο ATM που βασίζονται στην τεχνολογία SONET:

STS-1 με ρυθμό 51.84 Mbps

STS-3c με ρυθμό 155.52 Mbps

STS-12c με ρυθμό 622.08 Mbps

(**STS**: Synchronous Transfer Signal)

Στο ίδιο πρότυπο περιγράφεται η λειτουργία σε ρυθμό 44.736 Mbps που αντιστοιχεί στο Ψηφιακό Ρεύμα 3 (Digital Stream 3- **DS3**)

χρησιμοποιώντας το Πρωτόκολλο Σύγκλισης Φυσικού Επιπέδου (Physical Layer Convergence Protocol - PLCP)

που ανήκει στο πρότυπο Κατανεμημένης Ουράς Διπλού Διαύλου (Distributed Queue Dual Bus - DQDB).

Η σύσταση I.432 της CCITT/ITU-T SDH ορίζει δύο φυσικές προσαρμογές στο ATM που βασίζονται στη Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy - SDH). Οι προσαρμογές αυτές αντιστοιχούν στους ρυθμούς STS-3c και STS-12c του SONET και είναι:

STM-1 με ρυθμό 155.52 Mbps

STM-4 με ρυθμό 622.08 Mbps

(STM: Synchronous Transfer Module)

Επιπρόσθετα ο οργανισμός ITU-T τυποποίησε τους ακόλουθους τύπους διατάξεων προσαρμογής:

DS1 με ρυθμό 1.544 Mbps

E1 >> 2.084 Mbps

DS2 >> 6.312 Mbps

E3 >> 34.368 Mbps

DS3 >> 44.736 Mbps χρησιμοποιώντας το

Πρωτόκολλο Σύγκλισης Φυσικού Επιπέδου (PLCP)

E4 >> 139.264 Mbps

Τέλος το ATM Forum ορίζει τέσσερεις ρυθμούς προσαρμογής.

Για δημόσια δίκτυα υιοθετούνται οι διατάξεις προσαρμογής:

- **DS3** με ρυθμό 44.736 Mbps του ANSI
- **STS-3c** >> 155.52 Mbps του ITU-T

Για ιδιωτικά δίκτυα ορίζονται οι διατάξεις προσαρμογής:

- βασισμένες στο FDDI με ρυθμό 100 Mbps, με χρήση πολύτροπης οπτικής ίνας,
- βασισμένες στο Οπτικό Κανάλι (Fiber Channel) με ρυθμό 155.52 Mbps, με χρήση πολύτροπης οπτικής ίνας,
- για θωρακισμένο ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών (STP) κατηγοριών 1 και 2, σύμφωνα με το πρότυπο δομημένης καλωδίωσης EIA/TIA 568,
- για αθωράκιστο ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών (UTP) κατηγοριών 3 και 5, σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο.

ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ATM

Δέχεται ενότητες δεδομένων από το στρώμα προσαρμογής στο ATM, έτοιμες για ενθυλάκωση (encapsulation), και παραδίδει την πληροφορία στο στρώμα προσαρμογής στο ATM μετά την αποενθυλάκωση (decapsulation).

Πρωταρχική λειτουργία του είναι η από άκρη-σε-άκρη σειριακή μεταφορά των ATM κυψελίδων.

Λειτουργίες του επιπέδου ATM

- κατασκευή κυψελίδων,
- λήψη κυψελίδων και αναγνώριση εγκυρότητας επικεφαλίδων,
- μεταγωγή, προώθηση κι αντιγραφή κυψελίδων χρησιμοποιώντας τις τιμές αναγνώρισης νοητού μονοπατιού/ κυκλώματος (VPI/ VCI),
- πολυπλεξία κι αποπολυπλεξία κυψελίδων χρησιμοποιώντας τις τιμές VPI/ VCI,
- επεξεργασία πεδίου Προτεραιότητα Απώλειας Κυψελίδας (Cell Loss Priority -CLP),

- υποστήριξη πολλαπλών κλάσεων Ποιότητας Υπηρεσιών (QOS),
- αναγνώριση των τιμών επικεφαλίδας που έχουν κρατηθεί κι εκχωρηθεί,
- γενικός έλεγχος ροής,
- άμεση ένδειξη προς τα πρόσω συμφόρησης,
- εκχώρηση και μετακίνηση συνδέσεων.

Δίκτυα ATM

το μέσο μετάδοσης παρέχει την υπηρεσία μεταφοράς στο

- **Νοητό Μονοπάτι (Virtual Path -VP),**
το οποίο με τη σειρά του παρέχει υπηρεσία μεταφοράς στο
- **Νοητό Κανάλι (Virtual Channel -VC).**
το οποίο περιγράφει τη μονόδρομη επικοινωνιακή δυνατότητα που παρέχεται στις κυψελίδες ATM.

Η επικεφαλίδα κάθε κυψελίδας περιέχει μια ετικέτα που καθορίζει επακριβώς το νοητό κανάλι στο οποίο ανήκει.

Η ετικέτα αυτή περιλαμβάνει:

- **Κωδικό Αναγνώρισης (Ταυτότητα) Νοητού Καναλιού (Virtual Channel Identifier -VCI) &**
- **Κωδικό Αναγνώρισης (Ταυτότητα) Νοητού Μονοπατιού (Virtual Path Identifier - VPI).**

Οι τιμές VPI & VCI στην επικεφαλίδα μιας εισερχόμενης κυψελίδας αλλάζουν σύμφωνα με τον πίνακα μετάφρασης του κόμβου μεταγωγής.

- **Κόμβος μεταγωγής νοητών καναλιών (VC switching)** ή χειριστής νοητών καναλιών (VC handler).
- **Κόμβος μεταγωγής νοητών μονοπατιών** ή χειριστής νοητών μονοπατιών ή κόμβος διασταυρούμενης σύνδεσης (cross connect).

Η Γραμμή Νοητού Καναλιού (Virtual Channel Link)

περιγράφει τη μονόδρομη επικοινωνιακή δυνατότητα μεταξύ δυο διαδοχικών οντοτήτων ATM όπου μεταφράζεται η τιμή VCI.

Η αλληλουχία Γραμμών Νοητού Καναλιού σχηματίζει μια Σύνδεση Νοητού Καναλιού (Virtual Channel Connection-VCC),

άκρο σύνδεσης θεωρείται το σημείο ανταλλαγής ανάμεσα στα στρώματα ATM και προσαρμογής στο ATM.

Όταν οι κυψελίδες μεταφέρονται μέσω μιας VCC διατηρούν τη σειρά τους.

Το Νοητό Μονοπάτι (Virtual Path - VP)

περιγράφει μια δέσμη Γραμμών Νοητών Καναλιών.

Η Γραμμή Νοητού Μονοπατιού (Virtual Path Link) περιγράφει τη μονόδρομη επικοινωνιακή δυνατότητα μεταφοράς κυψελίδων ATM μεταξύ δυο διαδοχικών οντοτήτων ATM όπου μεταφράζεται η τιμή του VPI.

Η αλληλουχία Γραμμών Νοητού Μονοπατιού σχηματίζει μια **Σύνδεση Νοητού Μονοπατιού (Virtual Path Connection - VPC)**.

ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ (MANAGEMENT PLANE)

για να διατηρηθεί στις συνδέσεις η επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας (QoS)

είναι απαραίτητη η παρακολούθηση κι έλεγχος του δικτύου ATM

- **τμήμα συνολικής διαχείρισης επιπέδων (plane management)**
- **τμήμα διαχείρισης στρωμάτων**

Λειτουργίες Τμήματος Συνολικής Διαχείρισης Επιπέδων:

- διαχείριση σφάλματος για δυναμική ανίχνευση, απομόνωση και διόρθωση δυσλειτουργιών,
- διαχείριση απόδοσης για συνεχή παρακολούθηση, αναφορά κι εκτίμηση της συμπεριφοράς των δομοστοιχείων του δικτύου,
- διαχείριση διαμόρφωσης/ σύνθεσης του δικτύου,
- λογιστική διαχείριση,
- διαχείριση ασφάλειας για τον έλεγχο πρόσβασης.

Τμήμα Διαχείρισης στρωμάτων

- περιλαμβάνει λειτουργίες διαχείριση του Φυσικού, ATM και Προσαρμογή στο ATM Στρωμάτων.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ

TRAFFIC CONTROL & RESOURCE MANAGEMENT

απαιτήσεις:

- Μνήμης,
- Υπολογιστικής ισχύος ενεργών διατάξεων,
- Εύρος ζώνης,
- Αξιοπιστίας,
- Απόδοσης.

θέματα

- ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service -QOS),
- στατιστικό μοίρασμα (Statistical Sharing),
- βαθμίδες ελέγχου (Hierarchical Control),
- προληπτικός έλεγχος (Preventive Control),
- έλεγχος ανάδρασης (Feedback Control).

μηχανισμοί ελέγχου:

- έλεγχος αποδοχής συνδέσεων (Call Admission Control -CAC),
- έλεγχος παραμέτρων χρήσης (Usage Parameter Control -UPC),
- έλεγχος συμφόρησης (Congestion Control),
- δρομολόγηση (Routing).

Ποιότητα Υπηρεσίας

Quality of Service – QOS

- απόδοση δικτύου (Network Performance -NP).
- άκρο-σε-άκρο ποιότητα υπηρεσίας I.356.

1) από πλευρά χρήστη:

παράμετροι:

- λόγος σφάλματος κυψελίδων (Cell Error Ratio -CER),
- λόγος ομάδας κυψελίδων με σοβαρά σφάλματα (Severely Errored cell Block Ratio- SECBR),
- λόγος απώλειας κυψελίδων (Cell Loss Ratio -CLR),
- λόγος λανθασμένης εισαγωγής κυψελίδων (Cell Misinsertion Rate -CMR),
- καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (Cell Transfer Delay -CTD),
- μέση καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (Mean Cell Transfer Delay -MCTD),
- μεταβλητότητα καθυστερήσεων κυψελίδων (Cell Delay Variation -CDV).

βαθμός υπηρεσίας (Grade of Service - GOS)

πιθανότητα μη αποδοχής της κλήσης στο
δίκτυο

κλάσεις υπηρεσιών:

- **κλάση A** προσομοίωση κυκλώματος & CBR υπηρεσίες,
- **κλάση B** VBR βίντεο & φωνή,
- **κλάση C** μεταφορά δεδομένων προσανατολισμένη-σε-σύνδεση,
- **κλάση D** μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση,
- Available Bit Rate - ABR Διαθέσιμου Ρυθμού Bits,
- Unclassified.

Παράδειγμα κλάσης A:

$CLR < 1.7 \cdot 10$, $CTD = 10 \mu\text{sec}$, $CDV = 250 \mu\text{sec}$

2) από πλευρά διαχειριστή δικτύου:

μέτρηση απόδοσης σε επίπεδο κλήσης,
μέτρηση απόδοσης σε επίπεδο κυψελίδων,
π.χ.

καθυστέρηση εγκατάστασης & τερματισμού κλήσης
πιθανότητα μπλοκαρίσματος κλήσης
λόγος λανθασμένων κυψελίδων
λόγος απολεσθέντων κυψελίδων
καθυστέρηση κυψελίδων

- αδυναμία δικτύου να υποστηρίξει απαιτήσεις κυκλοφορίας → **συμφόρηση**

Στατιστικός Διαμοιρασμός & Διαδικασίες Απομόνωσης

Statistical Sharing & Isolation

Στατιστικός Διαμοιρασμός στοχεύει σε μέγιστη εκμετάλλευση πόρων μέσω αυξημένου κέρδους στατιστικής πολυπλεξίας (statistical multiplexing gain)

π.χ. πολύπλεξη VBR κυκλοφοριών με συνολικό *ρυθμό αιχμής* (peak rate) μεγαλύτερο του ρυθμού μετάδοσης της γραμμής, αλλά συνολικό *μέσο ρυθμό* μικρότερο του ρυθμού της γραμμής.

εμφάνιση καταιγισμού (burst) σε μια κυκλοφορία
μπορεί να γεμίσει καταχωρητή πολυπλεξίας
→ υπερχείλιση
λύση?

5. διατήρηση χρήσης πόρων σε χαμηλά επίπεδα,
6. απομόνωση ρευμάτων κυκλοφορίας,
7. διαφορετικές προτεραιότητες σε ρεύματα κυκλοφορίας,

προτεραιότητες για: έλεγχο καθυστερήσεων,
έλεγχο απωλειών.

Βαθμίδες & Μηχανισμοί Ελέγχου

οντότητες κίνησης:

2. κλήσεις (calls)
3. νοητές συνδέσεις μονοπατιών (paths)
4. νοητές συνδέσεις καναλιών (channels)
5. καταιγισμοί κυψελίδων (burst cells)
6. ανεξάρτητες κυψελίδες (cells)

χρονική κλίμακα:

1. στιγμιαίοι μηχανισμοί που λειτουργούν τοπικά (π.χ. επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων, προγραμματισμός κυψελίδων, μορφοποίηση κίνησης, έλεγχος παραμέτρων κυκλοφορίας),
2. μηχανισμοί με χρόνο εφαρμογής την καθυστέρηση μετάδοσης μεταξύ των δυο άκρων του δικτύου (π.χ. άμεση ένδειξη της προς τα πίσω συμφόρησης Explicit Forward Congestion Indication - EFCI, πρωτόκολλο γρήγορης κράτησης -fast reservation protocol),
3. μηχανισμοί με χρόνο εφαρμογής την καθυστέρηση αμφίδρομης ανταλλαγής μηνυμάτων & αποκρίσεων κατά μήκος του δικτύου (π.χ. έλεγχος αποδοχής κλήσης -Connection Admission Control -CAC).

Συμβόλαια Κυκλοφορίας

συμφωνία ανάμεσα σε χρήστη & δίκτυο,
προδιαγραφές ITU-T I.371 & ATM Forum UNI.

περιγραφέας κυκλοφορίας (traffic descriptor):

- μέγιστος ρυθμός κυψελίδων (Peak Cell Rate -PCR) & ανοχή απόκλισης καθυστέρησης κυψελίδων (Cell Delay Variation - CDV),
- υποστηρίξιμος ρυθμός κυψελίδων (Sustainable Cell Rate - SCR) & ανοχή καταιγισμού,
- ελάχιστος χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων κυψελίδων,
- ελάχιστο του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών αφίξεων κυψελίδων για συγκεκριμένη χρονική περίοδο,
- μέσος ρυθμός,
- μέσο & μέγιστο μέγεθος καταιγισμού (Maximum Burst Size -MBS).

- **αιτούμενη κλάση ποιότητας υπηρεσίας,**
- **ποιότητα υπηρεσίας που αναμένεται να παράσχει το δίκτυο,**
- **κανόνας ελέγχου συμμόρφωσης προς συμφωνηθέντα,**
- **καθορισμός, από πλευράς δικτύου, του ποια σύνδεση θεωρείται ως συμμορφούμενη.**

μορφοποιητής κυκλοφορίας (traffic shaper)

εξασφαλίζει ότι το εξερχόμενο ρεύμα
κυκλοφορίας συμμορφώνεται σε μια σειρά
παραμέτρων,

ανοχή καταιγισμού (burst tolerance)

Έλεγχος Παραμέτρων Χρήσης & Έλεγχος Παραμέτρων Δικτύου

Usage Parameter Control –UPC &
Network Parameter Control – NPC

Αστυνόμευση (Policing) σύμφωνα με τα
συμβόλαια κυκλοφορίας.

μηχανισμός ελέγχου παραμέτρων πρέπει να:

- είναι απλός στην υλοποίηση του & κατανοητός από χρήστη,
 - αντιδρά γρήγορα στις παραβιάσεις,
 - δίνει περιθώριο ανοχής λόγω αβεβαιοτήτων,
 - είναι διαφανής, εφόσον η πηγή συμμορφώνεται προς τα συμφωνηθέντα,
 - εμφανίζει τον ελάχιστο αριθμό λανθασμένων & καθυστερημένων συναγερμών.
-
- προβλήματα μετρήσεων, π.χ. χρονικός ορίζοντας

Μορφοποίηση Κυκλοφορίας

Traffic Shaping

- προσαρμογή της κυκλοφορίας στις συμφωνηθείσες παραμέτρους,
- πραγματοποίηση από χρήστη ή από δίκτυο (π.χ. διασυνδεδεμένα δίκτυα)?

μηχανισμοί:

- ενδιάμεση αποθήκευση (buffering) με αλγόριθμο διαρρέοντος κάδου (leaky bucket),
- αραίωση κυψελίδων (spacing), προγραμματισμός αναχώρησης των (scheduling), μείωση του μέγιστου ρυθμού κυψελίδων (peak rate reduction), περιορισμός μήκους καταιγισμού (burst length limiting), περιορισμός ρυθμού πηγής (source rate limitation),
- χρήση προτεραιοτήτων αναμονής (priority queueing) ή έλεγχος προτεραιότητας (priority control),
- πλαισίωση (framing) δηλ. υπέρθεση μιας σύγχρονης δομής πλαισίων στο ασύγχρονο ρεύμα κυψελίδων.

Αλγόριθμος Διαρρέοντος Κάδου

Leaky Bucket Algorithm)

για τον έλεγχο παραμέτρων χρήσης (UPC).

μετατροπή μέσω προσωρινής αποθήκευσης μιας ροής μη συμμορφούμενης προς το συμβόλαιο κυκλοφορίας σε ροή που συμμορφώνεται.

B: μέγεθος κάδου κουπονιών,

R: ρυθμός διαρροής κουπονιών από κάδο.

μια κυψελίδα που φθάνει προσπαθεί να προσθέσει ένα κουπόνι στον κάδο και περνάει μόνο αν ο κάδος δεν είναι πλήρης,

αλλιώς απορρίπτεται ή αποθηκεύεται προσωρινά σ' ένα ενδιάμεσο καταχωρητή ή χαρακτηρίζεται με ετικέτες.

παραλλαγή με *πολλαπλούς κάδους* για έλεγχο μέγιστου ρυθμού και μέσου ρυθμού.

στις κυψελίδες που παραβιάζουν το συμβόλαιο κυκλοφορίας,

ο UPC μπορεί να τοποθετήσει ετικέτες υψηλής προτεραιότητας απώλειας $CLP=1$ ή ακόμα και να τις απορρίψει,

- αν εμφανιστεί συμφόρηση μέσα στο δίκτυο, οι κυψελίδες με $CLP=1$ είναι οι πρώτες που θα απορριφθούν

Γενικός Αλγόριθμος Κυψελίδας

Generic Cell Rate Algorithm –GCRA

I: Παράγοντας Αύξησης (Increment),

L: Όριο (Limit),

χωρητικότητα κάδου: $L+I$,

ρυθμός διαρροής κάδου: 1/μονάδα χρόνου.

- σε κάθε άφιξη κυψελίδας, αύξηση περιεχομένου κάδου κατά 1,
- μια κυψελίδα βρίσκεται σε συμμόρφωση, όταν κατά την άφιξη της το περιεχόμενο του κάδου είναι μικρότερο από L ,
- παραλλαγή με *πολλαπλούς κάδους*.

Έλεγχος Αποδοχής Κλήσης

Call Admission Control –CAC

- χαρακτηρισμός κυκλοφορίας πηγής και απαιτήσεων ποιότητας,
- πολιτική αποδοχής/ απόρριψης,
- διαδικασία δρομολόγησης.

1. διαπραγμάτευση με χρήστη αίτησης νέας σύνδεσης,
2. απόφαση για αποδοχή/ απόρριψη νέας σύνδεσης,
3. κατανομή πόρων δικτύου για υποστήριξη νέας σύνδεσης.

η πολιτική αποδοχής/ απόρριψης μιας σύνδεσης περιλαμβάνει:

- εκτίμηση της QOS που θα προκύψει, αν η νέα σύνδεση γίνει αποδεκτή,
- καθορισμός παραμέτρων χρήσης του δικτύου,
- εκχώρηση απαραίτητων πόρων δικτύου.

Διαχείριση Πόρων

Resource Management

χρήση νοητών μονοπατιών (VPs) μεταξύ κόμβων δικτύου, με σκοπό τη μελλοντική υλοποίηση πολλών συνδέσεων νοητών καναλιών (VCCs) μέσα σ' αυτά.

- **Ταχεία Διαχείριση Πόρων (Fast Resource Management -FRM)**

για αντιμετώπιση καταιγισμών ως αυτόνομων ροών κυκλοφορίας π.χ. μεταξύ LANs.

Μέθοδοι

Ταχεία Κράτηση Εύρους Ζώνης (Fast Bandwidth Reservation)

1. εγγυημένη καθυστέρηση (delayed guaranteed)

ειδική κυψελίδα δηλώνει αίτηση για κράτηση εύρους ζώνης (REQ BW) σε κάθε κόμβο κατά μήκος διαδρομής, αν όλοι οι κόμβοι συμφωνούν, ο προορισμός στέλνει πίσω θετική απάντηση (GRANT BW), μετά στέλνεται ο καταιγισμός.

2. άμεση & χωρίς εγγύηση (immediate unguaranteed)

ειδική κυψελίδα προηγείται καταιγισμού αλλά στέλνονται μαζί αποφάσεις στο δρόμο.

Ταχεία Κράτηση Χώρου Αναμονής (Fast Buffer Reservation)

ειδική κυψελίδα αίτησης κράτησης χώρου (REQ BUF) στους ενδιάμεσους κόμβους.

Έλεγχος Συμφόρησης (Congestion Control)

έχει σκοπό την ανίχνευση της συμφόρησης και την αντίδραση σ' αυτήν, έτσι ώστε να μειωθεί η ταχύτητα & η διάρκεια της και ν' ελαχιστοποιηθούν τα αρνητικά αποτελέσματά της.

πόροι όπου μπορεί να παρουσιασθεί συμφόρηση:

- θύρες ATM στοιχείων μεταγωγής,
- καταχωρητές προσωρινής αποθήκευσης,
- γραμμές μετάδοσης,
- επεξεργαστές του επιπέδου προσαρμογής στο ATM (AAL),
- επεξεργαστές του ελέγχου αποδοχής σύνδεσης (CAC).

Καταστάσεις - τρόποι αντιμετώπισης:

- χωρίς συμφόρηση –
congestion management & avoidance
- μ' ελαφρά συμφόρηση (mild) -
congestion avoidance & recovery
- με σοβαρή συμφόρηση (severe) –
congestion recovery

Διαχείριση Συμφόρησης

Congestion Management: προσπαθεί να διασφαλίσει ότι το δίκτυο δεν θα οδηγηθεί σε καταστάσεις συμφόρησης.

μέθοδοι:

- κατανομή πόρων (resource allocation),
- υλοποίηση ελέγχου παραμέτρων χρήσης (UPC) με δυνατότητα απόρριψης,
- έλεγχος αποδοχής σύνδεσης με πλήρη εγγραφή (fully booked),
- βέλτιστος σχεδιασμός δικτύου.

Αποφυγή Συμφόρησης

Congestion Avoidance: προσπαθεί να προλάβει σοβαρή συμφόρηση.

μέθοδοι:

- άμεση ένδειξη συμφόρησης προς τα πρόσω (Explicit Forward Congestion Indication - EFCI),
- χαρακτηρισμός από τον έλεγχο παραμέτρων χρήσης (χαρακτηρισμός κυψελίδων τοποθετώντας ετικέτες (tagging),

- έλεγχος αποδοχής σύνδεσης με υπερπλήρη εγγραφή (overbooking) υποθέτουν ότι δεν θα ζητήσουν όλες οι συνδέσεις ταυτόχρονα τις μέγιστες τιμές των παραμέτρων,
- παρεμπόδιση κλήσεων (call blocking),
- έλεγχος ροής (flow control): χρήση παραθύρων (window-based), προσαρμογή ρυθμού (rate-based), παροχή αδειών αποστολής (credits).

Επανάκαμψη από Συμφόρηση

Congestion Recovery

μέθοδοι:

- επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων (selective cell discard),
- δυναμική αλλαγή παραμέτρων ελέγχου χρήσης (dynamic UPC),
- μείωση προσφερόμενης κυκλοφορίας,
- διακοπή συνδέσεων,
- ανθρώπινη εμπλοκή.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΤΜ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΤΜ Διακοπτικό Σύστημα

- διασυνδέει δύο φυσικές γραμμές,
- υποδέχεται εισερχόμενες κυψελίδες από τις γραμμές εισόδου και
- τις οδηγεί στις κατάλληλες γραμμές εξόδου,
- επιπλέον υποστηρίζει λειτουργίες ελέγχου της κυκλοφορίας (που περιγράφονται στα επίπεδα ελέγχου & διαχείρισης).

Αρχιτεκτονική του διακόπτη (switch architecture)

- μονάδες εισόδου (input modules),
- μονάδες εξόδου (output modules),
- πυρήνας μεταγωγής (switching fabric, Cell Switch Fabric - CSF),
- έλεγχος αποδοχής σύνδεσης (Connection Admission Control - CAC),
- διαχείριση συστήματος (System Management - SM).

Μονάδες Εισόδου

- τερματισμός εισερχόμενου σήματος κι εξαγωγή κυψελίδων,
- προετοιμασία κυψελίδων για μεταγωγή (έλεγχος λαθών, μετάφραση VPI/VC1, καθορισμός θύρας εξόδου, κυψελίδες σηματοδοσίας & διαχείρισης, έλεγχος παραμέτρων).

Μονάδες Εξόδου

- προετοιμασία κυψελίδων για μετάδοση.

Πυρήνας Μεταγωγής Κυψελίδων

- εσωτερική δρομολόγηση & μεταγωγή κυψελίδων από μονάδες εισόδου σε μονάδες εξόδου και μεταφορά κυψελίδων σηματοδοσίας & διαχείρισης στις μονάδες ελέγχου κυψελίδων & διαχείρισης συστήματος,
- προσωρινή αποθήκευση κυψελίδων,
- πολυπλεξία κυκλοφορίας,
- υποστήριξη πολλαπλής εκπομπής (multicasting) & εκπομπής από ένα σημείο προς πολλά (broadcasting),
- έλεγχος συμφόρησης,
- επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων.

Αρχιτεκτονική Πυρήνα ή Δικτύου Μεταγωγής ή Διασύνδεσης

- κοινόχρηστου μέσου (*shared-medium*)
- κοινόχρηστης μνήμης (*shared-memory*)
- διαίρεση/ επιμερισμός χώρου (*space-division*)

Αρχιτεκτονική κοινόχρηστου μέσου

αρτηρία ή δακτύλιος,
αναγκαία ταχύτητα μεγαλύτερη του συνολικού ρυθμού
μετάδοσης των εισερχομένων γραμμών,
π.χ. ATOM (ATM Output buffer Modular), NEC,
PARIS (Packetized Automated Routing Integrated
Systems), IBM,
ATMX switch, NET Adaptive,
ASX-100, Fore Systems.

Αρχιτεκτονική κοινόχρηστης μνήμης

μνήμη διπλής εισόδου,
χρόνος προσπέλασης μνήμης,
π.χ. shared-buffer, Hitachi,
IBM switch,
Prelude switch, CNET.

Αρχιτεκτονική διαίρεσης/ επιμερισμού χώρου

- εισερχόμενες κυψελίδες μεταφέρονται ταυτόχρονα με πολλαπλές γραμμές μετάδοσης,
- κάθε μεταφερόμενη κυψελίδα απαιτεί την εγκατάσταση μιας αποκλειστικής διαδρομής μεταξύ εισόδου – εξόδου,
- δεν απαιτεί πολυπλεξία στην είσοδο και αποπολυπλεξία στην έξοδο,
- κατανεμημένη διαχείριση & έλεγχος,
- επεκτασιμότητα.

Δίκτυα Πλέγματος

CrossBar Networks (CBN)

- δυνατότητα N συνδέσεων ταυτόχρονα εφόσον προς διαφορετικές θύρες εξόδου,
- πολυπλοκότητα $O(N*N)$,
- μόνο μια διαδρομή (όχι εναλλακτική) μεταξύ εισόδων – εξόδων.

Δίκτυα Διασύνδεσης Πολλαπλών Βαθμίδων

Multistage Interconnection Networks - MIN),

- βασικό δομικό το στοιχείο μεταγωγής (Switch Element- SE),
- r βαθμίδες ($r = \log_2 N$),
- κάθε βαθμίδα αποτελείται από N/r Ses.

ταξινόμηση Δικτύων Διασύνδεσης Πολλαπλών
Βαθμίδων ανάλογα με:

- τοπολογία (Banyan, Omega, ...),
- ύπαρξη ενδιάμεσων καταχωρητών (buffered-unbuffered),
- θέση καταχωρητών (input, output, internal buffering),
- λειτουργία τους (δίκτυα ταξινόμησης, αντιγραφής, συγκέντρωσης-αποκέντρωσης ...).

σύγκριση ATM διακοπτικών Συστημάτων με βάση:

- Πολυπλοκότητα,
- Επεκτασιμότητα,
- Μέγιστη ταχύτητας μεταγωγής,
- Συνωστισμό/ μπλοκάρισμα,
- Αξιοπιστία,
- Δυνατότητα υποστήριξης συγκέντρωσης & διαχωρισμού κυκλοφορίας,
- Δυνατότητα υποστήριξης λειτουργιών αντιγραφής, πολλαπλής αποστολής, κτλ.

ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ ATM

LAN EMULATION

Διαφορές Τοπικών Δικτύων και ATM Δικτύων

- LAN: πλαίσια μεταβλητού μήκους έως 18 KBytes,
- ATM: κυψελίδες 53 Bytes,
θέμα: κατάτμηση & επανασυναρμολόγηση.

- LAN: επικοινωνία χωρίς σύνδεση,
- ATM: επικοινωνία προσανατολισμένη-σε-σύνδεση,
θέμα: καθορισμός μεθόδων παροχής υπηρεσιών χωρίς σύνδεση.

- LAN: επικοινωνία βάσει των διευθύνσεων MAC
i) unicast ii) multicast iii) broadcast,
- ATM: μεταγωγή νοητών καναλιών & μονοπατιών
επικοινωνία σημείο-προς-σημείο,

θέμα: καθορισμός μεθόδων παροχής υπηρεσιών multicast, broadcast.

- LAN: best effort υπηρεσίες,
- ATM: διαχείριση εύρους ζώνης,

θέμα: δημιουργία αποθέματος εύρους ζώνης στο επίπεδο ATM
ή χρήση υπηρεσίας ABR, μαζί με έλεγχο συμφόρησης.

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΟΠΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑ

Το πρότυπο **SYNCHRONOUS OPTICAL NETWORK (SONET)** στις ΗΠΑ και Ιαπωνία &

το πρότυπο **SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (SDH)** στην Ευρώπη

δίνουν οδηγίες για την οπτική διασύνδεση
συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών.

Αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση των B-ISDN & Gigabit LANs.

- Ορίζουν μια ψηφιακή ιεραρχία πολυπλεξίας για χειρισμό σημάτων που βασίζουν τη μεταφορά τους σε οπτικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την εύκολη εξαγωγή από ένα πολυπλεγμένο σήμα των διαφόρων σημάτων.

Ιστορικά στοιχεία

Πολυπλεξία Διαίρεσης/ Επιμερισμού Χρόνου
(Time Division Multiplexing - TDM)

ΗΠΑ

- **T1**: ψηφιακό ρεύμα 1ου επιπέδου (Digital Stream 1 -DS1) μεταφέρει 24 ψηφιακά κανάλια φωνής των 64Kbps συν 8Kbps σηματοδοσίας, με συνολικό ρυθμό 1,544Mbps,
- **T2**: τέσσερα σήματα T1 πολυπλέκονται, περίπου 6Mbps,
- **T3**: επτά σήματα T2 πολυπλέκονται, περίπου 44Mbps,
- **T4**: έξι σήματα T3 πολυπλέκονται, περίπου 274Mbps.

Ευρώπη

- **E1**: μεταφέρει 30 ψηφιακά κανάλια φωνής των 64Kbps συν 2 κανάλια συγχρονισμού πλαισίου & σηματοδοσίας, με συνολικό ρυθμό 2,048Mbps,
- **E2**: τέσσερα σήματα E1 πολυπλέκονται, περίπου 8Mbps,
- **E3**: τέσσερα σήματα E2 πολυπλέκονται, περίπου 32Mbps,
- **E4**: τέσσερα σήματα E3 πολυπλέκονται, περίπου 140Mbps,
- **E5**: τέσσερα σήματα E4 πολυπλέκονται, περίπου 565Mbps.

SONET

- δυνατότητα 13 Gbps
- πλαίσιο 810Bytes μεταδίδεται κάθε 125μsec σχηματίζοντας ένα συρμό bits με ρυθμό 51,840Mbps.

**Σήμα Σύγχρονης Ματαφοράς 1ου επιπέδου
(Synchronous Transport Signal level-1, STS-1)**

Κάθε Byte του πλαισίου αντιστοιχεί σε ένα κανάλι 64Kbps,
το βασικό σήμα STS-1,
πολυπλεξία $N * \text{STS-1}$ σημάτων δημιουργεί
μεγαλύτερους ρυθμούς STS-3, 9, 12, 24, 36, 48, 96, 192.

Για μετάδοση μέσω οπτικής ίνας, ορίζεται ένα οπτικό αντίστοιχο του STS-1 **Οπτικός Φορέας 1ου επιπέδου (Optical Carrier level-1)** με πολυπλεξία OC-3, ..., OC-192.

- ANSI T1.105-1988 & T1.106-1988
- CCITT/ITU **SDH**
- ρυθμοί Synchronous Transport Signal (STS)
-1, 3, 9, 12, 24, 36 & 48
- απεικόνιση των DSO, 1, 2, 3

- T1.105R1, T1.117 & T1.102-1991
- επιπλέον διαδικασίες συντονισμού & συγχρονισμού
- Μεταγωγή Αυτόματης Προστασίας (Automatic Protection Switching - APS)
- Κανάλια Επικοινωνίας Δεδομένων (Data Communications Channels - DCC)
- Ένθετα Κανάλια Λειτουργίας (Embedded Operations Channels)
- απεικόνιση του DS4 (139Mbps) σε STS-3c
- T1.105.01, T1.105.03, T1.105.05 & T1.119-1994
- θέματα συγχρονισμού, τοπολογιών δακτυλίου, αντιστοίχισης υπηρεσιών, διαχείρισης, διευθυνσιοδότησης, κτλ.